



GREIFSWALD
MOOR
CENTRUM

LEITFADEN FÜR DIE UMSETZUNG VON PALUDIKULTUR

Nordt, A., Abel, S., Hirschelmann, S.,
Lechtape, C. & Neubert, J.

Greifswald Moor Centrum-Schriftenreihe
05/ 2022



Impressum

Foto Titelseite: Rohrkolben-Anbau (Tobias Dahms, AESA aerial)

Zitiervorschlag | suggestion for citation:

Nordt, A., Abel, S., Hirschelmann, S., Lechtape, C. & Neubert, J. (2022): Leitfaden für die Umsetzung von Paludikultur. Greifswald Moor Centrum-Schriftenreihe 05/2022 (Selbstverlag, ISSN 2627-910X), 144 S.

Für den Inhalt der Arbeiten sind die Verfasser verantwortlich. | Authors are responsible for the content of their publications.

Impressum | Imprint

Herausgeber | publisher:

Greifswald Moor Centrum | Greifswald Mire Centre
c/o Michael Succow Stiftung

Ellernholzstraße 1/3
17489 Greifswald
Germany

Tel: +49 (0) 3834 8354 210

Mail: info@greifswaldmoor.de

Internet: www.greifswaldmoor.de

Das Greifswald Moor Centrum ist eine Kooperation von Universität Greifswald, Michael Succow Stiftung und DUENE e.V. | The Greifswald Mire Centre is a cooperation between University of Greifswald, Michael Succow Foundation and DUENE e.V.

UNIVERSITÄT GREIFSWALD
Wissen lockt. Seit 1456



**Succow
Stiftung**

DUENE e.V.
at the Institute of Botany
and Landscape Ecology



Dieser Leitfaden ist in Kooperation der Projekte MoKli, MORGEN und Paludi-PRIMA entstanden. Er stellt eine Synthese von Erfahrungen aus Pilotbetrieben sowie Beratungs- und Forschungsprojekten dar. Es handelt sich um einen ersten Überblick, der nicht in allen Aspekten Vollständigkeit für sich beanspruchen kann, da noch nicht zu allen Aspekten ausreichend Erfahrungen und Literatur vorliegen. Bezüglich der rechtlichen Rahmenbedingungen und der Finanzierungsmöglichkeiten wird die Sachlage bei Redaktionsschluss (Aug/2022) abgebildet. Es wird jedoch immer dort, wo die Entwicklungen aktuell besonders dynamisch sind oder mit Aktualisierungen und Neuerungen gerechnet werden kann, darauf hingewiesen. Dieser Leitfaden soll nach Möglichkeit in Zukunft weiterbearbeitet und um hoffentlich zahlreiche neue Erkenntnisse und Tipps aus der Praxis bereichert - in einigen Jahren neu aufgelegt werden. Die Autorinnen freuen sich über Hinweise, Feedback und Berichte zu praktischen Erfahrungen im Umgang mit dem Leitfaden.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Danksagung

Wir bedanken uns für die inhaltliche Zuarbeit bei Greta Gaudig für das Praxis Beispiel „Torfmoos-Paludikultur“ im Kapitel 7.1, bei Markus Götz und Andrea Kruse (Universität Hohenheim) für die Zuarbeit von Kapitel 3.1.5 „Bioraffinerie zur Erzeugung von Plattformchemikalien und Kunststoffen“ und bei Anja Schumann (ARGE Donaumoos) für das Praxis Beispiel „Beweidung“ im Kapitel 7.3. Sabine Wichmann möchten wir ganz besonders danken für die kritische Durchsicht während der Bearbeitungsphase, der inhaltlichen Zuarbeit zum Praxis Beispiel „Rohrkolbenanbau“ im Kapitel 7.1 sowie der Beantwortung zahlreicher Nachfragen zur Ökonomie, Rohrkolbenanbau und den Rahmenbedingungen. Außerdem möchten wir Wendelin Wichmann und Christian Schröder danken für die umfangreiche und kritische Durchsicht des Leitfadens.

Inhaltsverzeichnis

	Impressum	2
	Inhaltsverzeichnis	4
	Abbildungsverzeichnis	6
	Tabellenverzeichnis	8
	Box-Verzeichnis	9
	Abkürzungsverzeichnis	10
1.	Einführung	12
1.1	Ziele und Adressaten des Leitfadens	12
1.2	Hinweise zur Nutzung des Leitfadens	13
1.3	Die Moor-Bewirtschaftungsform Paludikultur	14
1.3.1	Verschiedene Formen der Paludikultur	14
1.3.2	Klimawirkung von Paludikultur	16
1.3.3	Weitere Ökosystemdienstleistungen durch Paludikultur	17
1.3.4	Neue Berufsbilder in der Paludikultur	19
2.	Flächeneinrichtung und Bewirtschaftung	20
2.1	Vorüberlegungen für landwirtschaftliche Betriebe	20
2.2	Spezifische Flächenvorbereitung und -einrichtung, Management	22
2.2.1	Infrastruktur und Flächeneinrichtung	22
2.2.2	Wasserrückhalt und Wassermanagement	25
2.2.4	Anbau-Paludikulturen	28
2.2.5	Nasswiesen-Nassweiden Paludikultur (spontane Bestandsentwicklung/Sukzession)	32
2.3	Technik für Paludikultur	35
2.3.1	Die Herausforderungen bei der Bewirtschaftung nasser und vernässter Moorböden	37
2.3.3	Ernte von Torfmoos-Paludikultur	45
2.3.4	Ernte der Erle	46
2.4	Kosten	46
2.4.1	Flächeneinrichtung und Bestandsetablierung	47
2.4.2	Management- und Erntekosten	51
3.	Verwertung von Paludikultur-Biomasse	54
3.1	Verwertungsmöglichkeiten	56
3.1.1	Tiergebundene Nutzungen	56
3.1.2	Energetische Verwertung	61
3.1.3	Bau-, Dämm- und Werkstoffe	67
3.1.4	Papier und Formteile	73
3.1.5	Bioraffinerie zur Erzeugung von Plattformchemikalien und Kunststoffen	77

3.1.6	Substrate und Blumenerden für den Gartenbau	79
3.1.7	Weitere (Spezial-)Verwertungsmöglichkeiten von Paludikultur-Biomasse	82
3.2	Von der Fläche zum Produkt: welche Verwertung ist die Richtige?	84
4.	Standörtliche Eignungskriterien	88
4.1	Standörtliche Voraussetzungen	89
4.1.1	Standorteigenschaften	89
4.2	Erfolgsfaktoren	94
4.3	Standortansprüche verschiedener Paludikulturen	96
5.	Planung und Genehmigung	99
6.	Unterstützung	104
6.1	Finanzierungsoptionen	104
6.1.1	Finanzierungsoptionen für die Einrichtung von Paludikulturen	105
6.1.2	Finanzierungsoptionen für die Bewirtschaftung von Paludikulturen	108
6.1.3	Verwertung und Vermarktung von Biomasse aus Paludikulturen	110
6.1.4	Ausblick	111
6.2	Beratung	112
7.	Umsetzungsbeispiele	114
7.1	Praxisanbau von Rohrkolben (<i>Typha</i>) - Demonstrationsfläche „Teichweide“ bei Neukalen	114
7.2	Praxisanbau von Torfmoos (<i>Sphagnum</i>) – Demonstrationsfläche „Hankhauser Moor“ bei Rastede, LK Ammerland (Niedersachsen)	120
7.3	Umsetzung von Wiedervernässung mit extensiver Beweidung auf feuchten bis nassen Standorten im Schwäbischen Donaumoos (Gundelfinger Moos)	125
	Literaturverzeichnis	132

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1: Die fünf Handlungsfelder der Paludikultur-Umsetzung und Inhalte der Kapitel.

Abb. 1.2: Paludikulturen können Nasswiesen, Nassweiden sowie gezielt etablierte Anbaukulturen sein.

Abb. 2.1: Verwallung zur Abgrenzung einer Rohrkolbenkultur, davor Außengraben zum weiterhin entwässerten Grünland.

Abb. 2.2: Mahlbusen und Pumpe für Zuwässerung, Mönch (Überlauf) zur Regulierung des Wasserstands in einer Rohrkolbenkultur und Auslauf Druckrohr Flächeninnenseite und Solarmodule im Hintergrund für Betrieb der Solarpumpe.

Abb. 2.3 a+b: Maschinelle Pflanzung von Rohrkolben mit einer Forstpflanzmaschine.

Abb. 2.4: Modellierete Wasserstands-Ganglinien für unterschiedliche Ausgangswasserstände eines Moores in Nordost-Deutschland

Abb. 2.5: Vogelvergrämung in einer Rohrkolben-Paludikultur in M-V.

Abb. 2.6: Rohrwerbung mit Seiga und Raupentechnik von Hanze Wetlands auf Rügen. Beispiele für einstufige Ernteverfahren.

Abb. 2.7: Ernterversuch eines Rohrkolbenbestandes bei Anklam. 2018 erfolgreiche Ernte mit einer Seiga aus der Rohrmahd.

Abb. 2.8: Einstufiges Ernteverfahren: Erntetechnik für Häckselgut, Winterernte. Erntetechnik: Softrak 120 (Loglogic) mit ELHO Doppelhäcksler und 11 m³ Bunker.

Abb. 2.9: Beispiele für mehrstufige Ernteverfahren. Links: Sommer-Mahd mit Raupentechnik; Mitte und rechts: mit angepasster Grünlandtechnik.

Abb. 2.10: Raupe mit Ballenpresse.

Abb. 2.11: Ernte von Torfmoos-Biomasse. Links: Maschinelle Tormoos-Ernte mit Mähkorb. Rechts: Test-Ernte mit kettenbasierter Technik (Loglogic).

Abb. 2.12: Seilkran-Technik zur Bergung der manuell eingeschlagenen Stämme.

Abb. 2.13: Ergebnisse der Modellrechnung für Arbeitszeitbedarfe bei der Sommer- und Winterernte von 4 ha mit einer Biomasseproduktivität von 4 t TM pro ha.

Abb. 3.1: Wasserbüffel im wiedervernässten Küstenüberflutungsmoor „Karrenderfer Wiesen“. Die Landschaftspfleger drängen erfolgreich das Schilf zurück.

Abb. 3.2: Heizwerk der Agrotherm GmbH in Malchin, wo Biomasse aus einem wiedervernässten Niedermoor verbrannt wird.

Abb. 3.3: PV-Freiflächenanlage „Solarpark Lottorf“ der Wattmanufactur im teilweise wiedervernässten Niedermoor in Schleswig-Holstein.

Abb. 3.3: Schilf-Dämmplatte.

Abb. 3.4: Dach-Schilf (-Rohr) zur Dachdeckung.

Abb. 3.5: Grasfaser-Dämmatten von Gramiterm.

Abb. 3.6: Bau- und Dämmplatte aus Rohrkolben (Typha.Board).

Abb. 3.7: Faserverbundplatte aus Nasswiesen-Biomasse. Hergestellt von ZELFO Technology.

Abb. 3.8: Schrank-Treppen-Element aus Gras-Faser-Verbundplatten im Paludi-Tiny-House von Moorand-more.

Abb. 3.9: Akustik-Elemente aus Schilf-Halmen von HISS-Reet.

Abb. 3.10: Prototyp einer Schaumplatte aus Seggen-Biomasse. Hergestellt von Fraunhofer Institut für Holzforschung WKI.

Abb. 3.11: Test mit Rohrkolben-Einblasdämmung.

Abb. 3.12: Einblasdämmstoff aus Rohrkolben-Biomasse.

Abb. 3.13: Pellets aus Nasswiesen-Heu könnten dezentral produziert werden und in bestehende Produktionsabläufe eingebracht werden.

Abb. 3.14: Einweggeschirr aus Schilf und Rohrkolben. Prototypen von Biolutions.

Abb. 3.15: Frische Torfmoos-Biomasse.

Abb. 3.16: Poinsettia in Substrat aus 80 % Torfmoos-Biomasse.

Abb. 3.17: Sonnentau auf Torfmoosen auf der Torfmoos-Paludikulturfläche im Hankhauser Moor

Abb. 4.1: Flächenkulisse mit landwirtschaftlichen genutzten organischen Böden mit Bewertung der Eignung für nasse Bewirtschaftung in Brandenburg.

Abb. 4.2: Vorüberlegungen bei der Umsetzung von Wiedervernässung und Paludikultur aus Sicht der Eigentümer*innen als Betroffene oder wenn sie selbst Initiatoren sind.

Abb. 6.1: Unterteilung der verschiedenen Bereiche mit Finanzierungsbedarf. Flächenbezogene Finanzierung, betriebsbezogener Unterstützungsbedarf, Finanzierungsbedarfe für die nachgelagerte Verarbeitung und Vermarktung von (Zwischen-) Produkten.

Abb.7.1: Fläche vor Einrichtung.

Abb.: 7.2: Zeitstrahl Praxisanbau von Rohrkolben: Von der Einrichtung 2019 zur ersten Ernte 2021.

Abb. 7.3: Schritte im Genehmigungsverfahren zur Einrichtung der Versuchsfläche.

Abb.7.4: Übersicht Flächeneinrichtung Rohrkolbenanbau mit Baumaßnahmen.

Abb. 7.5: Bau der Verwallung.

Abb. 7.6: Druckrohr und Überlauf.

Abb. 7.7: Abladen des Pflanzguts.

Abb. 7.8: Pflanzung mit Fortpflanzmaschine.

Abb. 7.9: Drohne mit Dosierer zur Aussaat.

Abb. 7.10: Erste Rohrkolbenernte als gehäckselte Biomasse.

Abb. 7.11: Verladen von gehäckselter Rohrkolbenbiomasse.

Abb. 7.12: Rohrkolbenfläche bepflanzt und vernässt im Oktober 2019.

Abb. 7.13: Beginn 1. Vegetationsperiode Rohrkolbenfläche Mai 2020.

Abb. 7.14: Ende 1. Vegetationsperiode Rohrkolbenfläche November 2020.

Abb. 7.15: Erste Ernte Rohrkolbenfläche Dezember 2021.

Abb. 7.16: Erste maschinelle Ernte von Torfmoosen mit Mähkorb im Sommer 2016.

Abb. 7.17: Übersicht über die Maßnahme 1: Rückbau der Entwässerung im Gundelfinger Moos.

Abb. 7.18: Übersicht über das Gesamtvorhaben mit Beobachtungsgebiet, Kernzone und Pufferzone.

Abb. 7.19: Schottische Hochlandrinder und Unterstand für Wasserbüffel auf befestigter Liegefläche.

Abb. 7.20: Eine befestigte Zuwegung mit Schotter zu den Liegeflächen, Wasserversorgung und Fütterungsstelle.

Abb. 7.21: Tina Niess, Georg Wiedenmann und Winfried Bayer sind die BioMoos GbR.

Tabellenverzeichnis

Tab. 1.1: Abgrenzung und Zuordnung der Wasserstände und Klimawirkung zur Torfzehrung bzw. Torferhalt in genutzten Mooren

Tab. 1.2: Übersicht der geschätzten Standortemissionen von verschiedenen Moor-Bewirtschaftungsverfahren

Tab. 2.1: Maßnahmen bei der Einrichtung und Pflege von halmgutartigen Anbau-Paludikulturen

Tab. 2.2: Maßnahmen bei der Einrichtung und Pflege von Torfmoos-Paludikulturen

Tab. 2.3: Maßnahmen bei der Einrichtung und Pflege von Schwarzerlenbeständen auf Moor

Tab. 2.4: Maßnahmen bei der Einrichtung und Pflege von Nasswiesen/Seggenrieden

Tab. 2.5: Maßnahmen bei der Einrichtung und Pflege von Nassweiden

Tab.2.6: Schilfernte für die Verwendung als Dachschilf

Tab. 2.7: Rohrkolbenernte

Tab. 2.8: Ernte von Nasswiesen-Biomasse im Sommer, Herbst oder Winter als Häcksel und Ballen

Tab. 2.9: Ernte von Torfmoosen

Tab. 2.10: Übersicht möglicher Kostenfaktoren für die Etablierung von Anbau-Paludikulturen mit Schilf und Rohrkolben.

Tab. 2.11: Kosten für die Etablierung von Anbau-Paludikulturen mit Schilf oder Rohrkolben

Tab. 2.12: Etablierungskosten für eine Pilotfläche mit Torfmooskultivierung-Paludikultur auf ehemaligem Hochmoorgrünland

Tab. 2.13: Bestandsbegründungskosten für eine Schwarzerlenaufforstung

Tab. 2.14: Übersicht über die Kosten verschiedener Bewirtschaftungsverfahren von Nasswiesen und -weiden

Tab. 3.1: Praxisreife und Eignung von Anbau- und Nasswiesen-Paludikulturen für verschiedene Verwertungen

Tab. 3.2: Übersicht über tiergebundene Nutzungsmöglichkeiten (Beweidung, Futterproduktion) mit Paludikultur

Tab. 3.3: Übersicht über die energetischen Verwertungsmöglichkeiten für Paludikultur-Biomasse

Tab. 3.4: Übersicht über Bau- und Dämmstoffe aus Paludikultur-Biomasse

Tab. 3.5: Kennwerte verschiedener Dämmstoffe (Prototypen und Produkte) aus bzw. mit Paludikultur-Rohstoffen

Tab. 3.6: Übersicht über die Möglichkeiten, aus Paludikultur-Biomasse Papier und Formteile herzustellen

Tab. 3.7: Übersicht über die Möglichkeiten, aus Paludikultur-Biomasse Plattformchemikalien und Kunststoffe herzustellen

Tab. 3.8: Übersicht über die Möglichkeiten, aus Paludikultur-Biomasse Substrat-Ausgangsstoffe und Blumenerden herzustellen

Tab. 3.9: Übersicht über die weiteren Verwertungsmöglichkeiten für Paludikultur-Biomasse

Tab. 3.10: Erzielbare Erlöse für Biomasse aus Paludikultur

Tab. 4.1: Eignung unterschiedlicher hydrogenetischer Moortypen für Paludikultur

Tab. 4.2: Ökologische Moortypen Mitteleuropas

Tab. 4.3: Standortansprüche für versch. Paludikulturen

Tab. 5.1: Übersicht über wasserrechtliche Genehmigungsverfahren, Voraussetzungen und notwendige Unterlagen.

Tab. 6.1: Übersicht über Kostenbestandteile, Kostenträger und Finanzierungsoptionen für die Flächenvorbereitung, Einrichtung des Wassermanagements und Bestandsbegründung von Paludikulturen

Tab. 6.2: Übersicht Kostenbestandteile, Kostenträger und Finanzierungsoptionen für die Bewirt-

schaffung nasser und vernässter Moorböden/ Paludikulturen

Tab. 6.3: Übersicht Kostenbestandteile, Kostenträger und Finanzierungsoptionen für die Verwertung und Vermarktung von Paludikultur-Rohstoffen und -Produkten

Box-Verzeichnis

Box 2.1: Maßnahmen bei der Einrichtung und Pflege von halmgutartigem Anbau-Paludikulturen

Box 2.2: Maßnahmen bei der Einrichtung und Pflege von Torfmoos-Paludikulturen

Box 2.3: Maßnahmen bei der Einrichtung und Pflege von Schwarzerlenbeständen auf Moor

Box 2.4: Maßnahmen bei der Einrichtung und Pflege von Nasswiesen/Seggenrieden

Box 2.5: Maßnahmen bei der Einrichtung und Pflege von Nassweiden

Box 2.6: Scherfestigkeit & Eindringwiderstand

Box 3.1: Carbon footprint von Dämmstoffen aus Paludikultur

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr	GAPKondV	Gemeinsame Agrarpolitik-Konditionalitäten-Verordnung
ARGE	Arbeitsgemeinschaft	GLÖZ	Guter landwirtschaftlicher und ökologischer Zustand
AUKM	Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen	GVE	Großvieheinheit
BB	Brandenburg	ha	Hektar
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung	HMF	5-Hydroxymethylfurfural
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft	HTC	Hydrothermale Karbonisierung
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz	K	Kelvin
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz	kg	Kilogramm
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz	LWaG	Landeswassergesetz
BY	Bayern	m	Meter
CH₄	Methan	M-V	Mecklenburg-Vorpommern
CO₂	Kohlendioxid	N₂O	Lachgas
Efm	Erntefestmeter	NAWARO	Nachwachsende Rohstoffe
EFRE	Europäischen Fonds für regionale Entwicklung	NI	Niedersachsen
ELER	Europäischen Landwirtschaftsfonds	NSP	Nationaler Strategieplan
EPS	Expandierter Polystyrol-Hartschaum	NET	Negative-Emissionen-Technologie
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik	PEF	Polyethylenfuranoat
GAPDZV	Gemeinsame Agrarpolitik-Direktzahlungen-Verordnung	PET	Polyethylenterephthalat
GAPKondG	Gemeinsame Agrarpolitik-Konditionalitäten-Gesetz	PV	Photovoltaik
		SG	Schlachtgewicht
		S-H	Schleswig-Holstein
		t	Tonne
		THG	Treibhausgas
		TM	Trockenmasse
		UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
		Vfm	Vorratsfestmeter
		WHG	Wasserhaushaltsgesetz
		WRRL	Wasserrahmenrichtlinie

1. Einführung

In Deutschland befinden sich von den 1,8 Mio. ha Moor- und Anmoorböden (=organische Böden) etwa 75 % in entwässerungsbasierter landwirtschaftlicher Nutzung. Diese landwirtschaftlich genutzten Moorböden setzen enorme Mengen an Treibhausgasen (THG) frei – insgesamt 41 Mio. t CO₂-Äquivalente pro Jahr (UBA 2021). Das entspricht ca. 40 % der gesamten THG-Emissionen aus der Landwirtschaft. Zur Erfüllung des Pariser Klimaabkommens von 2015 müssen die menschengemachten CO₂-Emissionen auf Netto-Null gesenkt werden. Dies bedeutet für landwirtschaftlich genutzte Moorstandorte den Rückbau der Entwässerung und die Wiederherstellung flurnaher Wasserstände. Klimaneutralität in der Landwirtschaft und der Landnutzung wird nur mit der großflächigen und schnellen Umsetzung von Moor-Wiedervernässung für Natur- und Klimaschutz sowie mit der Einführung von Paludikultur erreichbar sein. Dies bedeutet für die auf Moorböden wirtschaftenden Betriebe eine enorme Herausforderung. Entwässerung war bisher die Voraussetzung für die landwirtschaftliche Nutzung von Mooren und bot eine einigermaßen verlässliche oder sogar sehr gute Einkommensquelle für Landwirt*innen. Aber auch nasse und mit Paludikultur bewirtschaftete Moore können Biomasse-Erträge erbringen und Einkommen erzielen.

Jedoch stellt die Umstellung und zunächst auch das „Umdenken“ des Wirtschaftens im nassen Moor viele Landwirt*innen bisher noch vor eine große, wenn nicht gar „undenkbare“ Herausforderung. Die Umsetzung der Paludikultur befindet sich zurzeit noch im Pilotstadium. Viele Landwirt*innen wissen von der bedeutenden Klimarelevanz ihrer Moorflächen, aber es fehlt ihnen an konkretem Praxis-Wissen für die Umstellung und an konkreten wirtschaftlichen Perspektiven und Verwertungspartnern. Einige Pionierbetriebe setzen die Bewirtschaftung bei hohen Wasserständen schon um und in Forschungsprojekten werden Paludikulturen weiterentwickelt und getestet. Ihre großflä-

chige Umsetzung steht jedoch noch ganz am Anfang.

1.1 Ziele und Adressaten des Leitfadens

Dieser Leitfaden soll eine Anleitung und Hilfestellung für die Umstellung von Flächen und Betrieben auf Paludikultur bieten und richtet sich vornehmlich an die Bewirtschaftenden und Eigentümer*innen von Moorflächen, die über eine Umstellung nachdenken oder diese bereits planen. Ziel des Leitfadens ist es, das aktuelle Wissen zusammenzutragen und die einzelnen Schritte übersichtlich darzustellen. Der Leitfaden baut damit insbesondere auf den Arbeiten von Schulze et al. 2016 (DSS Torbos), Birr et al. 2021 (Steckbriefe für klimaschonende, biodiversitätsfördernde Bewirtschaftungsverfahren) sowie dem Paludikultur-Buch von Wichtmann et al. (2016) auf. Der Leitfaden richtet sich auch an weitere Schlüsselakteure, die für die Umsetzung von Paludikultur eine entscheidende Rolle haben: Vorhabenträger, Wasser- und Bodenverbände, Ämter, landwirtschaftliche Berater*innen, Forschungseinrichtungen und potentielle Verwertungsunternehmen.

Dieser Leitfaden bietet Anleitung für Akteure, die:

- die landwirtschaftliche Nutzung von Moorflächen nach Anhebung der Wasserstände beibehalten möchten und Information zur Umsetzung suchen,
- geeignete Umsetzungsflächen für Paludikultur finden wollen,
- einen Betrieb auf Paludikultur umstellen oder Paludikultur als Betriebszweig entwickeln möchten,
- neue Verwertungswege für Paludikultur-Biomasse identifizieren möchten,
- für die Deckung ihres Biomasse-Bedarfs nasse Moorflächen einbeziehen wollen,

- weitere Ökosystemdienstleistungen von bewirtschafteten Moorflächen (Klimaschutz, Gewässerschutz, Klimaanpassung, Biodiversität) verbessern wollen.

Die Entwicklungen in den Rahmenbedingungen für Paludikultur sind aktuell sehr dynamisch und es ist damit zu rechnen, dass sich die Rahmenbedingungen von der Agrarpolitik, Verfügbarkeit von Spezialmaschinen bis hin zum Vermarktungspotential für Produkte aus Paludikultur in den nächsten Jahren deutlich verbessern werden. Die Ausgestaltung in den einzelnen Bundesländern wird dabei auch weiterhin vermutlich sehr unterschiedlich sein. Die Autorinnen des Leitfadens empfehlen daher jeder/jedem Landwirt*in oder Initiator*in, sich bei Projektbeginn bei den zuständigen Behörden bzw. nach den aktuell für das jeweilige Bundesland gültigen Regularien und Angeboten zu erkundigen.

1.2 Hinweise zur Nutzung des Leitfadens

Der Leitfaden stellt fünf für die Umstellung auf Paludikultur relevante Handlungsfelder in einzelnen Kapiteln vor (Übersicht Abb. 1). Die Reihenfolge der Kapitel stellt keine zwangsläufige Abfolge für die Vorgehensweise bei der Umsetzung dar. Abgeschlossen wird der Leitfaden im Kapitel 7 mit der Vorstellung von drei Umsetzungsbeispielen aus Deutschland: Torfmoos-Paludikultur auf ehemaligem Hochmoor-Grünland in Niedersachsen, Rohrkolben-Anbau im wiedervernässten Niedermoor in Mecklenburg-Vorpommern sowie die Wiedervernässung und extensive Nassweiden-Bewirtschaftung im schwäbischen Donaumoos in Bayern. Für diese drei Beispiele werden detaillierte Informationen zum Vorgehen, zu Machbarkeitsstudien und Genehmigungsverfahren sowie zur Flächeneinrichtung gegeben.

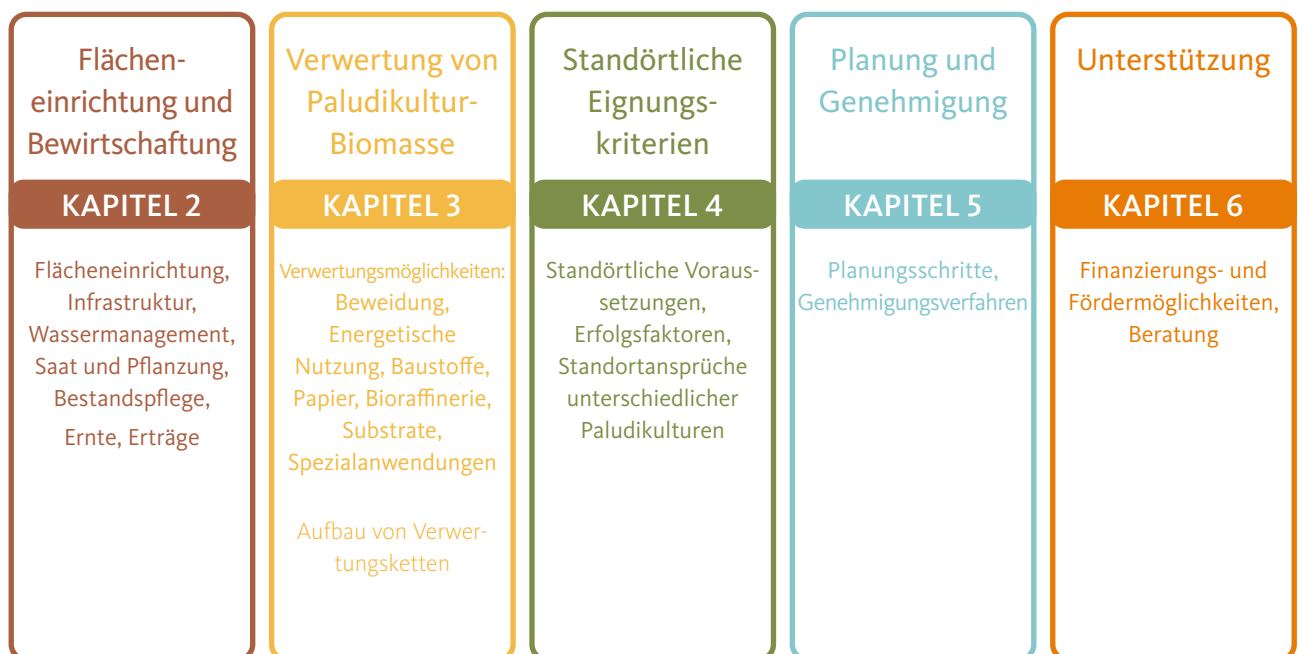


Abb. 1.1: Die fünf Handlungsfelder der Paludikultur-Umsetzung und Inhalte der Kapitel

1. Einführung

Wo beginnen?

Je nach individueller Ausgangslage und Bedarf kann die Lektüre und Benutzung dieses Leitfadens mit dem jeweils passenden Kapitel begonnen werden und es können einzelne Kapitel auch ausgelassen werden. Ein paar Beispiele dazu:

- Wenn Eigentümer*innen oder Bewirtschaftende von Moorflächen unsicher sind, ob oder wie die Umstellung auf Paludikultur gelingen kann und was aus betrieblicher Sicht dabei zu bedenken ist, empfiehlt es sich mit dem Kapitel Flächeneinrichtung und Bewirtschaftung zu beginnen (Kapitel 2).
- Wenn für Eigentümer*innen oder Bewirtschaftende der Entschluss zur Umstellung auf Paludikultur bereits feststeht, sie aber noch unsicher sind, ob und für welche Paludikulturen ihre Flächen geeignet sind, ist zunächst das Kapitel zu den standörtlichen Eignungskriterien hilfreich (Kapitel 4).
- Wenn der Wille zur Umstellung vorhanden und die Eignung von Flächen geklärt ist, aber noch unklar ist, wie die gewonnene Biomasse verwertet und vermarktet werden könnte, sollte mit dem Kapitel Verwertungswege begonnen werden (Kapitel 3).
- Wenn bereits feststeht, auf welchen Flächen welche Paludikultur betrieben werden soll und welche Verwertungswege oder Absatzmärkte zur Verfügung stehen, kann direkt in die Planung eingestiegen werden. Im Wesentlichen werden die Kapitel Planung und Genehmigung sowie Finanzierung (Kapitel 5 und 6) und das Kapitel zur Flächeneinrichtung und Bewirtschaftung (Kapitel 2) empfohlen.

1.3 Die Moor-Bewirtschaftungsform Paludikultur

Paludikultur ist die land- und forstwirtschaftliche Produktion auf wiedervernässten Moorböden bei Erhalt des Torfkörpers (LM M-V 2017a, Wichtmann

et al. 2016). Der Name leitet sich vom lateinischen „palus“ (=Sumpf) ab und wurde bewusst in Analogie zu anderen Landnutzungsformen wie Hortikultur, Apikultur, Agrikultur oder Silvikultur gewählt. So neu wie ihr Name ist die Paludikultur aber eigentlich nicht, denn bewirtschaftet werden nasse Moore seit Menschengedenken – überall auf der Welt. In Deutschland ist insbesondere die Werbung von Schilf zur Dacheindeckung zu nennen, aber auch die Streunutzung von Nasswiesen. In anderen Ländern können beispielsweise die Moosbeeren- und Papyrusernte aus nassen Mooren als Paludikultur bezeichnet werden. Dennoch stellt die Paludikultur in Deutschland auch etwas ganz Neues dar: Moore, die jahrzehntelang entwässert und konventionell mit nässeintoleranten Pflanzen bewirtschaftet wurden, werden nun wiedervernässt und mit moortypischen Pflanzen kultiviert. Und auch die Verwertung der gewonnenen Biomasse ist vielfach neu und oft innovativ: die Produktion von Lebensmitteln gerät in den Hintergrund, Beweidung spielt nur am Rande eine Rolle – zentral ist hingegen die Bioökonomie mit der Substitution von fossilen Rohstoffen in der Energiegewinnung und stofflichen Materialflüssen (oder -kreisläufen).

1.3.1 Verschiedene Formen der Paludikultur

Alle Paludikulturen sind Dauerkulturen, bei denen die oberirdische Biomasse genutzt wird. Unterschieden werden können Paludikulturen nach der Art ihrer Etablierung (siehe Abb. 1.2). Die genutzten Aufwüchse können sich in Abhängigkeit vom Wasserstand und der Nutzung auf natürliche Weise ausbilden. Bei sommerlicher Mahd oder Beweidung entstehen so z. B. Nasswiesen oder Nassweiden. Durch eine Mahd im Winter können Röhrichbestände gezielt entwickelt werden. Nasswiesen oder Nassweiden bestehen meist aus heterogenen Vegetationsbeständen und sind durch ihre natürliche Entwicklung an den Standort angepasst. Als Anbau-Paludikultur wird der gezielte

Anbau von z.B. Erlen oder Röhrichtpflanzen wie Schilf und Rohrkolben verstanden, welche in Reinkultur gezielt ausgesät oder angepflanzt werden. Auch Gräser können gezielt angesät werden und bei entsprechender Bestandsführung über längere Zeit stabile Vegetationsbestände ausbilden.

Weiter kann eine Unterscheidung von Paludikultur auf Hochmoor- und Niedermoor-Böden vorgenommen werden. Sie weisen trotz starker Veränderung durch die Entwässerung und Nutzung unterschiedliche Standortbedingungen (z.B. Nährstoffverfügbarkeit) auf, die sich vor allem nach der Wiedervernässung stärker ausprägen werden. Diese Bedingungen grenzen die Auswahl kultivierbarer Pflanzenarten ein. Schilf, Rohrkolben, Anbaugräser und Erle eignen sich vordergründig für Niedermoorstandorte, Torfmoos oder weitere Sonderkulturen, wie Sonnentau oder Beeren, eignen sich für Hochmoorstandorte. Für weitere Informationen zu Standortsansprüchen und Pflanzenauswahl siehe Kapitel 4.3.



Abb. 1.2: Paludikulturen können Nasswiesen, Nassweiden sowie gezielt etablierte Anbaukulturen sein.

Der erhöhte praktische Aufwand bei der aktiven Bestandsetablierung bei Anbaukulturen geht meist auch mit einem erhöhten Verwaltungs- und Organisationsaufwand einher, da zum Teil spezielle Genehmigungen notwendig sind (siehe dazu Kapitel 5 „Planung und Genehmigung“). Auch in der nachfolgenden Bewirtschaftung und im Management ergeben sich einige Unterschiede (siehe hierzu Kapitel 2 „Flächeneinrichtung und Bewirtschaftung“ und die Umsetzungsbeispiele in Kapitel 7).

Umstellung und Verwertung gemeinsam denken

Abnahmemöglichkeiten für Biomasse aus Paludikultur sind aktuell aufgrund der noch begrenzten Verfügbarkeit sehr spärlich vorhanden. Die Etab-

lierung neuer Verwertungsketten bedarf eines hohen und gesicherten Angebots von Rohstoffen und Produkten aus Paludikultur. Dies kann zurzeit kaum bedient werden, weil die Umstellung von entwässerungsbasierter auf nasse Bewirtschaftung zeit- und kostenaufwendig ist. Zudem stößt der Transport der voluminösen Rohstoffe an logistische Grenzen bzw. ist kostenintensiv. Die Umstellung von Flächen auf Paludikultur und die Verarbeitung und Vermarktung müssen daher gemeinsam gedacht, entwickelt und umgesetzt werden. Hierfür benötigt es kooperative Ansätze entlang von Wertschöpfungsketten und vermittelnde Strukturen (DVL & GMC 2022). Nasswiesen und Nassweiden mit heterogenen Beständen haben ein großes Flächenpotential und daher ein großes Biomassepotential. Synergien mit dem Naturschutz sind möglich und sie sind kostengünstiger zu etablieren als Anbau-Paludikulturen. Anbau-Paludikulturen haben dagegen aufgrund der homogeneren Zusammensetzung das Potential hochwertige, spezifische Rohstoffe bereitzustellen und bieten daher ein höheres Erlöspotential.

Der Aufbau und die (Weiter-)Entwicklung neuer Produktionslinien muss dringend forciert werden. Gesellschaftliche Transferzahlungen zur Förderung sind aufgrund der positiven Begleiteffekte wie Verringerung klimaschädlicher Emissionen, Abmilderung der Folgen des Klimawandels sowie der Steigerung der Wertschöpfung im ländlichen Raum gerechtfertigt. Die Nutzung von Produkten aus Paludikultur kann zudem aufgrund ihres geringen ökologischen Fußabdrucks (carbon footprint), z.B. im Bausektor und im Gartenbau direkt gefördert werden. Neben der Entwicklung und der Vermarktung neuer Produkte aus Paludikultur-Rohstoffen, besteht ein hohes Potential Rohstoffe aus Paludikultur in bestehende Produktionslinien einzuspeisen, z.B. im Bereich Papierherstellung und Faserguss.

1. Einführung

1.3.2 Klimawirkung von Paludikultur

Bei Paludikultur wird das Ziel verfolgt, den Torfkörper des Moorbodens als Produktionsgrundlage dauerhaft zu erhalten („torferhaltende Nutzung“) und somit die THG-Emissionen maximal zu reduzieren. Um den Torf zu erhalten, sind ganzjährig flurnahe Wasserstände nötig. Dies ist auch aus Klimaschutzsicht gefordert, um die Emission von THG maximal zu reduzieren (Tiemeyer et al. 2020, Jurasinski et al. 2016). Eine Bewirtschaftung bei sommerlichen durchschnittlichen Wasserständen im Bereich von 10 - 45 cm unter Flur ist keine Paludikultur, sondern weiterhin torfzehrend und mit geringen bis hohen Kohlendioxid (CO₂)-Emissionen (und Lachgas: N₂O-Emissionen) verbunden (Tab. 1.1). Je höher der Wasserstand im Moor, desto geringer sind die CO₂-Emissionen. Es gilt: dort wo CO₂-Emissionen auftreten, findet Torfzehrung statt. Höhere CO₂-Emissionen bedeuten höhere Torfzehrung. Eine Anhebung der Wasserstände von der stark torfzehrenden Bewirtschaftung bis zur schwach torfzehrenden Bewirtschaftung

tion kann bereits zu einer deutlichen Reduktion der THG-Emissionen führen. Die Abgrenzung zwischen stark und schwach torfzehrend beruht auf einer künstlichen Grenze, die aus pragmatischen Gründen eingeführt wurde. Grundlage hierfür bilden die aktuell zur Verfügung stehenden gemessenen THG-Emissionsbilanzen, welche fortschreitend neue Erkenntnisse liefern können und somit auch die Grundlage und die gezogenen Grenzen in Zukunft verändern können.

Paludikultur fokussiert auf den Erhalt des Torfkörpers. Auch eine erneute Torfbildung ist bei geeigneten Bedingungen möglich. Paludikulturen sind Dauerkulturen, bei denen nur die oberirdische Biomasse genutzt wird. Durch den Eintrag unterirdischer Biomasse (Pflanzenwurzeln, Rhizome) kann neuer Torf entstehen. Hierfür gibt es allerdings bisher wenig wissenschaftliche Untersuchungen, da langjährige Erfahrungen mit Paludikultur fehlen.

Die unterschiedlichen Paludikulturen und Bewirtschaftungsverfahren können, abhängig von

Tab. 1.1: Abgrenzung und Zuordnung der Wasserstände und Klimawirkung zur Torfzehrung bzw. zum Torferhalt in genutzten Mooren (nach Närmann et al. 2021).

Bewirtschaftung	Mittlerer Wasserstand im Moor	Emissionsspannen in t CO ₂ -Äq. je ha*a	Klimawirkung
torfzehrend	stark Tief entwässertes Moor: sommerlicher Wasserstand tiefer als 45 cm unter Flur	~20 – 50	Hohe bis sehr hohe THG-Emissionen (vor allem CO ₂)
	schwach Sommerlicher Wasserstand: etwa 10 bis 45 cm unter Flur	~5 – 20	Emissionen wurden ggf. reduziert, weiterhin CO ₂ -, N ₂ O- und CH ₄ -Emissionen
torferhaltend (=Paludikultur)	Wasserstände in Flur, leichte Wasserstandschwankungen möglich, Überstau möglich Sommerlicher Wasserstand <10 cm ¹ unter Flur	~0 – 8	Maximal möglicher Klimaschutz: minimale CO ₂ -Emissionen oder CO ₂ -Senke; CH ₄ -Emissionen auftretend, ansteigend bei Überstau

¹ ggf. ist Torferhalt auch bei durchschnittlich 20 cm unter Flur möglich, z.B. bei Standorten mit Torfmoosen, Erlen-Beständen oder Küstenüberflutungsmooren. Dies ist stark abhängig von der Trophie des Standortes.

den Standorteigenschaften, zu unterschiedlichen Standortemissionen führen (Tab. 1.2). Das Reduktionspotential der THG-Emissionen des Standorts variiert somit je nach Höhe der THG im Ausgangszustand und in der anvisierten Form der Paludikultur.

Tab. 1.2: Übersicht der geschätzten Standortemissionen von verschiedenen Moor-Bewirtschaftungsverfahren. (Emissionswerte aus 1: Kaiser & Tanneberger 2021; 2: Daun et al. in Bearb.; 3: Tiemeyer et al. 2020).

Paludikultur (Referenz)	Global Warming Potential (GWP) in t CO ₂ -Äq. je ha*a
Schilf ⁽¹⁾	~ 0 - 7
Rohrkolben ⁽¹⁾	~ 6 - 7
Großseggen ⁽¹⁾	~ 3 - 10
Torfmoose ⁽²⁾	~3
Nassweide mit Wasserbüffeln ⁽¹⁾	~ 8 - 12
Zum Vergleich	
Grünland (im Durchschnitt) ⁽³⁾	31,7
Acker (im Durchschnitt) ⁽³⁾	40,4

Wie auch natürliche Moore, können in Paludikultur bewirtschaftete Moore Methan (CH₄) und in geringem Maße CO₂ emittieren. Vor allem in den ersten Jahren nach Wiedervernässung, in denen sich die Vegetation an den neuen Wasserstand anpasst bzw. durch aktive Maßnahmen etabliert wird, können die CH₄-Emissionen zunächst stark ansteigen (Kaiser & Tanneberger 2021). Der Klimaeffekt von bewirtschafteten Mooren wird allerdings vor allem durch CO₂ bestimmt, nicht durch CH₄. CH₄ hat zunächst eine stärkere Treibhauswirkung als CO₂, verschwindet aber auch wieder relativ schnell aus der Atmosphäre. Im Gegensatz dazu reichert sich CO₂ immer mehr in der Atmosphäre an. Des-

wegen sind der Umfang der Entwässerung sowie der Zeitpunkt der Wiedervernässung eines Moores entscheidend für den Klimaeffekt. Um eine weitere Klimaerwärmung aufzuhalten, müssen die Moore so schnell wie möglich wiedervernässt werden (Günther et al. 2020).

Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen aus Paludikultur können sogar eine zwei- bis dreifache Klimaschutzwirkung erzielen (Tanneberger et al. 2020, Nordt & Dahms 2021, Lahtinen et al. 2022):

1. Emissionsreduktion aufgrund der Wasserstands-anhebung auf der Produktionsfläche,
2. Festlegung von Kohlenstoff im (langlebigen) Produkt,
3. sowie ggf. Ersatz fossiler Rohstoffe.

Würde dieser geringe oder sogar negative carbon footprint dem Produkt angerechnet, würde das zu einem Marktvorteil führen und könnte die Nachfrage nach Paludikultur-Rohstoffen erhöhen.

Grundsätzlich gilt:

- **Paludikultur trägt zur Erreichung von Klimaschutzziele bei.**
- **Der höchste Klimaschutzeffekt bzw. die geringsten THG-Emissionen werden bei Wasserständen in Flurhöhe erreicht.**

1.3.3 Weitere Ökosystemdienstleistungen durch Paludikultur

Neben dem Klimaschutz kann Paludikultur zusätzliche positive Umwelteffekte bei einer Umstellung von der stark torfzehrenden hin zur torferhaltenden Nutzung bewirken. Nasse Moore übernehmen wichtige Regulierungsfunktionen im Landschaftswasser- und Nährstoffhaushalt und haben einen Einfluss auf das Lokalklima. Bei Entwässerung gehen diese Funktionen weitgehend verloren. Die irreversible Schädigung des Moorkörpers

1. Einführung

erschwert die Wiederherstellung moortypischer Wasserstände. Daher bedarf es in vielen Fällen eines dauerhaften Eingreifens, um z.B. starke Wasserstandschwankungen durch ein gezieltes Wassermanagement abzupuffern. Dies ist auch für die Bewirtschaftung erforderlich, so dass durch Paludikultur nicht nur Wasser in der Landschaft gehalten und Witterungsextreme abgepuffert werden, sondern auch die Herstellung von natürlichen Funktionen unterstützt wird. Die Umsetzung nasser Bewirtschaftungsformen kann somit auch einen wichtigen Beitrag zur Anpassung an den Klimawandel leisten.

Nährstoffrückhalt: Der Torfkörper entwässerter Moore wird mikrobiell zersetzt. Neben CO₂ werden dabei auch Nährstoffe freigesetzt und gelangen mit dem Entwässerungswasser in die Vorflut. Durch Wiedervernässung wird diese Nährstoffbelastung der Gewässer in den meisten Fällen auf ein Minimum reduziert. Gleichzeitig kann durch eine Bewässerung aus nährstoffbelasteten Vorflutern eine Nährstoffretention stattfinden. Durch die Ernte der Biomasse, insbesondere bei Sommermahd, werden dem System Nährstoffe entzogen. Paludikultur kann daher aktiv einen Beitrag zum Gewässerschutz leisten (Holsten & Trepel 2016).

Wasserspeicherung, Pufferwirkung, Hochwasserschutz: Nasse Moore haben einen unmittelbaren Einfluss auf den Wasserhaushalt in der Landschaft. Der Rückhalt des Wassers im Moorkörper und die flurnahen Grundwasserstände der Paludikulturen führen zu einem langsameren Abfließen des Wassers aus dem Moor und aus der Landschaft (Wahren et al. 2016). Die Quantifizierung einer zusätzlichen Grundwasserneubildung durch Wiedervernässung erfordert eine detaillierte hydrologische Studie (Tiemeyer et al. 2017). In systematisch entwässerten Regionen können großflächige Paludikulturflächen jedoch abhängig vom hydrogenetischen Moortyp zu einer Erhöhung des Grundwasserstandes in der umgebenden Landschaft führen.

Der größere Wasserspeicher führt zu einer geringeren Anfälligkeit in Trockenzeiten, was insbesondere in niederschlagsarmen Regionen wie Nord-Ost-Deutschland für die Klimaanpassung relevant ist. Mehr Infos dazu finden sich in Wahren et al. (2016). Bei Starkregen- oder Hochwasserereignissen können Paludikulturflächen als Retentionsraum dienen, da die angepassten Feuchtgebietspflanzen Überstau tolerieren. Gleichzeitig wird der Abfluss von Niederschlägen abgepuffert (z.B. Ahmad et al. 2020). Entlang von Flüssen gelegene Paludikulturflächen können die Fließgeschwindigkeit verringern, dies ist insbesondere relevant, wenn sich flussabwärts Flächen mit einem potentiellen Hochwasserrisiko befinden (Joosten et al. 2013, Wahren et al. 2016).

Kühlungseffekte: Die Wasserverfügbarkeit für die Evapotranspiration ist ganzjährig hoch und die Standorte wirken als lokal kühlende und luftauffeuchtende Landschaftselemente mit einem ausgeglichenerem Temperaturjahresgang (Wahren et al. 2016).

Biodiversitätsschutz: Wiedervernässung führt zu einer Ansiedlung moortypischer Tier- und Pflanzenarten, darunter auch seltene und gefährdete Arten (Närmann & Tanneberger 2021, Muster et al. 2015). Durch die Bewirtschaftung mittels Mahd oder Beweidung können Habitate neu geschaffen bzw. in einer geeigneten Qualität erhalten werden. Von der Bewirtschaftung nasser Niedermoorstandorte profitieren vor allem thermo- und heliophile Arten sowie Offenlandarten. Darüber hinaus fördert die Bewirtschaftung Phytophagen, die sich von dem frischen Aufwuchs ernähren. Zielkonflikte zwischen Klima- und Biodiversitätsschutz können dort entstehen, wo sich zwischenzeitlich auf entwässerten Moorstandorten seltene Trockenlebensräume etabliert haben, die bei Wiedervernässung beeinträchtigt würden, oder wenn in derzeitig artenreichen Feuchtwiesen der Wasserstand angehoben werden würde (Närmann et al. 2021).

1.3.4 Neue Berufsbilder in der Paludikultur

Mit der Ausbreitung der Paludikultur in Deutschland werden sich neue Berufsbilder in verschiedenen Bereichen entwickeln. Vom Bereich Wasserbau über den Bereich Landwirtschaft bis hin zu den verschiedenen Bereichen der Verarbeitung von Paludikultur-Biomasse (z.B. Heizwerk, Herstellung von Bauplatten oder Möbeln) wird es Moor- und Paludikultur-spezifische Spezialisierungen benötigen. Die größten Veränderungen und das größte Umdenken werden jedoch in der landwirtschaftlichen Berufsausübung stattfinden. Die Erzeugung von Lebensmitteln auf Mooren wird immer weiter in den Hintergrund rücken. Als Nischen in diesem Sektor verbleiben die Wasserbüffel- oder die Gänseweide auf nassen Mooren. Dagegen wird die Produktion von nachwachsenden Rohstoffen für die Bewirtschaftung nasser Moore immer wichtiger. Landwirt*innen verstehen sich aber selbst als Produzent*innen von Nahrungs- und Futtermitteln, seit mehr als 20 Jahren auch von erneuerbarer Energie. Für Landwirt*innen im Moor erweitert sich die Produktion künftig noch um den Bereich Klimaschutz, dafür hat der Deutsche Verband für Landschaftspflege das neue Berufsbild der/des Moor-Klimawirt*in entworfen.

Moor-Klimawirt*innen sind Landwirt*innen, die Klimaschutzleistungen bei der Bewirtschaftung von Moorböden erbringen. Diese Klimaschutzleistung wird über die Minderung oder Vermeidung von THG-Emissionen aus den Moorböden erbracht. Dies wird durch eine Wasserstandsanhhebung auf mindestens schwach torfzehrende Verhältnisse oder durch die Wiederherstellung bzw. den Erhalt hoher, moortypischer Wasserstände erreicht. Die Produktion von Klimaschutz auf Moorböden soll ein neuer Betriebszweig für landwirtschaftliche Betriebe mit Moorflächen werden. Das kann in Zukunft mit oder ohne Nutzung der Aufwüchse umgesetzt werden. Eine Betriebsumstellung oder -anpassung erfordert eine Neuorien-

tierung der Bewirtschafter*innen. Das Berufsbild Moor-Klimawirt*in soll diese Neuorientierung mit ihrem Selbstverständnis als Produzent*innen verbinden. Beispiel-Betriebe werden in der DVL-Broschüre „Moor-Klimawirte – Zukunft der Landwirtschaft im Moor“² ausführlich vorgestellt.

² mehr Infos: www.moorklimawirt.de

2. Flächeneinrichtung und Bewirtschaftung

In diesem Kapitel sind Informationen zusammengetragen, die für eine erfolgreiche Flächeneinrichtung und Bewirtschaftung hilfreich sind. Anhand verschiedener Beispiele für Paludikulturen sind Flächeneinrichtung, Flächenvorbereitung, Saat und Pflanzung, Wassermanagement, Bestandspflege und Ernte beschrieben sowie mögliche Erträge aufgezeigt.

Auf bisher entwässerten Standorten ist die Anhebung der Wasserstände für alle Paludikulturen nötig. Zur Wiedervernässung gibt es langjährige Erfahrungen aus dem Naturschutz, so bedarf eine erfolgreiche Wiedervernässung einer guten Planung, Kenntnisse der Fläche und Hydrologie sowie eines begleitenden Monitorings (siehe Kapitel 4 und 5). Informationen zu Wiedervernässung mit Fokus auf Renaturierung sind in den aufgelisteten Leitfäden zusammengefasst:

- [Leitfaden der Hochmoorrenaturierung in Bayern \(2002\)](#)
- [Leitfaden der Niedermoorrenaturierung in Bayern \(2005\)](#)
- [Leitfaden zur Renaturierung von Feuchtgebieten in Brandenburg \(2004\)](#)
- [Praktischer Moorschutz im Naturpark Erzgebirge/Vogtland und Beispiele aus anderen Gebirgsregionen: Methoden, Probleme, Ausblick. \(2007\)](#)
- [LIFE Moore in Rheinland-Pfalz - Leitfaden zur Wiedervernässung. Stiftung Natur und Umwelt Rheinland-Pfalz \(2011\)](#)
- [Praktische Hinweise zur optimalen Wiedervernässung von Torfabbauflächen \(2004\)](#)
- [Global Peatland Restoration Manual \(2008\)](#)
- [DSS-WAMOS: Eine 'Decision Support System' - gestützte Managementstrategie für Waldmoore \(2009\)](#)
- [Global guidelines for peatland rewetting and restoration \(2021\)](#)

Wiedervernässungen für den Naturschutz zielen jedoch vielfach darauf ab, laufende Kosten bzw. Eingriffe zu minimieren. Von daher überwiegen Maßnahmen, die nur ein passives Wassermanagement erlauben. Wasserstandsschwankungen sind aufgrund des irreversibel geschädigten Torfkörpers die Folge. In Paludikultur müssen jedoch verstärkt Maßnahmen ergriffen werden, mit denen Wasserstandsschwankungen abgemildert werden können und ein aktives Wassermanagement möglich ist (Wichtmann & Schröder 2016). Im folgenden Kapitel werden spezifische Informationen zu Vernässung und Wassermanagement für Paludikulturen gegeben.

2.1 Vorüberlegungen für landwirtschaftliche Betriebe

Die Umstellung auf Paludikultur bringt potentiell weitreichende betriebliche Umstrukturierungen mit sich und die Bewirtschaftung nasser Flächen stellt neue Anforderungen an die Bewirtschafter*innen. Die wichtigsten Einflussfaktoren für die Wirtschaftlichkeit von Paludikultur in landwirtschaftlichen Betrieben sind:

- die Ausgangssituation im Betrieb und auf den Flächen,
- die Kosten von Etablierung, Flächenmanagement, Ernte sowie Verwertung und Vermarktung,
- die zu erzielenden Erlöse aus der Vermarktung der Paludikultur-Erzeugnisse,
- die Höhe der Honorierung ökologischer Leistungen und
- die agrarpolitischen Rahmenbedingungen.

Informationen zu möglichen Erlösen für Rohstoffe und Erzeugnisse aus Paludikultur finden sich in Kapitel 3, Tabelle 3.10. Mögliche Kosten einer Paludikultur-Umsetzung sind in Kapitel 2.3 beschrieben. Zu den derzeit bestehenden Hemmnissen für die Umsetzung von Paludikultur gehören die

aktuelle Agrar- und Strukturförderung und weitere rechtliche Rahmenbedingungen, betriebliche Aspekte, Wasserverfügbarkeit und -management, Vorbehalte von Bewirtschaftenden, Flächeneigentümer*innen und Anwohnenden, der Finanzierungsbedarf sowie die geringen Erfahrungen in der Verwertung (Nordt et al. 2022).

Betriebliche Struktur und Ausstattung

Die Ausgangssituation eines Betriebes wird bestimmt durch unternehmensspezifische Faktoren wie die bisherige Betriebsstruktur, die Ausstattung und deren Auslastung (Flächen, Maschinen, Arbeitskraft usw.). Ausgehend davon können Investitions- und Förderbedarfe sowie nötige organisatorische Veränderungen abgeschätzt und ein betriebliches Konzept für eine wirtschaftliche nasse Moorbewirtschaftung und Verwertung erarbeitet werden. Die folgenden Fragen können dabei Hilfestellung bieten:

- Eignen sich vorhandene Flächen für Paludikultur (siehe Kapitel 4)? Wo liegen die Flächen innerhalb eines Moorkörpers bzw. -gebietes? Müssen Flächen getauscht oder arrondiert werden? Hierbei müssen die hydrologischen Gegebenheiten besonders beachtet werden (ggf. Betrachtung in hydrologischen Machbarkeitsstudien). Hierzu muss Kontakt mit den Bewirtschaftenden von geeigneten, beispielsweise angrenzenden Flächen aufgenommen werden.
- Liegen Betriebsflächen oder potentiell pachtbare Flächen innerhalb eines Projektgebietes für Wiedervernässung?
- Wie groß ist die Fläche und wie hoch ist die Menge der in einen Stoffstrom einzubindenden Aufwüchse?
- Gibt es bereits Verwertungswege für Mooraufwüchse im Betrieb oder in der Region? Welche Rohstoffanforderungen an die Biomasse ergeben sich durch die Verwertung,

können diese auf den Flächen erreicht werden?

- Wird für die Ernte und Lagerung, ggf. auch für Trocknung oder Komprimierung der Biomasse zusätzliche Technik und Infrastruktur im Betrieb benötigt (siehe Kapitel 3)?
- Ist angepasste Technik für die geplante Paludikultur vorhanden? Wenn nicht, welche Art von Technik wird benötigt (siehe Kapitel 2.3)? Kann diese in Kooperation mit anderen Landwirt*innen gemeinsam beschafft und genutzt werden? Können Maschinen regional gemietet werden oder gibt es Lohnunternehmen mit der entsprechenden Technik vor Ort?
- Falls keine Verwertungswege vorhanden sind, gibt es verarbeitende Unternehmen, geeignete Produktionsstandorte, um eine regionale Verarbeitung zu erweitern oder zu initiieren? Gibt es bereits Kontakte zu Unternehmen mit ähnlichen Rohstoffen (siehe Kapitel 3)?
- Welche Förderungen oder Finanzierungen bleiben auch nach Umstellung erhalten, welche entfallen durch die Veränderungen im Betrieb oder kommen dazu (siehe Kapitel 6)?
- Welche Produktionsfaktoren sind im Betrieb vorhanden und wie weit sind diese ausgelastet?
- Welcher Investitionsbedarf ergibt sich (in Abhängigkeit von der angestrebten Art der Paludikultur)?
- Bestehen Zweckbindungsfristen von laufenden Krediten oder Förderungen, die in den Zeitplan für den Umstellungsprozess einbezogen werden müssen?
- Wie kann Knowhow über die Bewirtschaftung auf den nassen Flächen erworben werden? Besteht Bedarf für Beratung, wer berät hierzu? Wo gibt es geeignete Weiterbildungsangebote (siehe Kapitel 6.2)?

Bei der Beantwortung dieser Fragen und Erarbeitung eines Konzepts für die betriebliche Umstellung und Bewirtschaftung kann ggf. externe Hilfe

2. Flächeneinrichtung und Bewirtschaftung

unterstützen. Mögliche Ansprechpartner*innen sind Landschaftspflegeverbände³, Lokale Aktion und weitere landwirtschaftliche Beratungsangebote in den Bundesländern (siehe auch Kapitel 6).

Flächenauswahl und -umsetzung / Zielkulturen und ihre Ansprüche: Für eine wirtschaftlich darstellbare Umsetzung von Paludikultur spielt die potentielle Ertragsfähigkeit des Standortes in Abhängigkeit von der Zielkultur eine zentrale Rolle. Die Ansprüche der gewünschten Paludikultur (Nasswiesen oder Anbau-Paludikultur, spezifische Arten) geben hierbei Orientierung (siehe Kapitel 2.2). Je nach Kultur unterscheiden sich die notwendigen Arbeitsschritte für die Einrichtung und die Bewirtschaftung einer Paludikulturfläche.

Szenarien der Bewirtschaftung: Die Ertragsfähigkeit der Paludikultur wird vor allem durch die Wasserstände und die Nährstoffversorgung bedingt. Die Ergebnisse von hydrologischen Modellierungen und Machbarkeitsstudien (siehe Kapitel 4; Beispiele in Kapitel 7.1 und 7.2) sollten daher genutzt werden, um verschiedene Szenarien (z.B. bedingt durch Wasserstandsschwankungen durch Hochwasser, Niedrigwasser, trockene Sommer) aus betrieblicher Perspektive zu prüfen, z.B. entlang folgender Fragen: Was bedeuten die Szenarien jeweils für die Kultur und die Bewirtschaftung? Wo kann mit Wassermanagement gesteuert werden, wo nicht? Ist Zusatzwasser verfügbar? Daran schließen sich praktische Fragen an: Wie ist eine Stromversorgung für einen ggf. notwendigen Pumpenbetrieb möglich? Mögliche Veränderungen in der Bewirtschaftung und Ertragsschwankungen z.B. durch Hochwasser- oder Dürresituationen sollten von vornherein mitgedacht und vorbeugend Umgangswesen entwickelt werden.

2.2 Spezifische Flächenvorbereitung und -einrichtung, Management

2.2.1 Infrastruktur und Flächeneinrichtung

Grundsätzlich können die vorhandenen land- und wasserwirtschaftlichen Infrastrukturanlagen für die Einrichtung von Paludikulturen genutzt werden. Der Zustand und die Struktur der Graben- und Entwässerungssysteme im Gebiet und der weiteren Umgebung sind ausschlaggebend für die Verlässbarkeit des Standorts aus technischer Sicht. Ggf. ist die Rekonstruktion bzw. Optimierung von **wasserbaulichen Einrichtungen** (Dämme, Pumpstationen, Bewässerungsgräben, Überläufe) erforderlich (Abb. 2.1., 2.2). Zudem wird ggf. eine **Energiequelle** zum Betrieb von Pumpen benötigt. Somit ist der Zugang zu Wasser, beispielsweise zu einem anliegenden Vorfluter für die Entnahme von Wasser vorteilhaft. Weiterhin müssen die Flächen durch **Zuwegungen** für die Bewirtschaftungstechnik und den Biomasse-Abtransport zugänglich sein. Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei wüchsigen Paludikulturen wie Schilf oder Rohrkolben auch ein hohes Biomasseaufkommen meist nur einen Erntetermin erfordert und dafür ggf. ein Ausbau der Wegeinfrastruktur auf die Fläche und/oder der Zuwegungen notwendig ist, ebenso wie flächennahe Umschlagplätze für das Erntegut. Mehrfache Überfahrten sollten vermieden werden, um die Grasnarbe zu schützen (Schröder et al. 2015, Wichtmann & Schröder 2016).

³ siehe www.mokli.de oder www.moorklimawirt.de



Abb. 2.1: Verwallung zur Abgrenzung einer Rohrkolbenkultur, davor Außengraben zum weiterhin entwässerten Grünland (rechter Bildrand). Foto: T. Dahms, 2020). Die Verwallung hat eine 3 m breite Krone und Auffahrten mit abgeflachter Böschung an mehreren Stellen. Die Verwallung wird regelmäßig gemäht, der zum Abhalten von Schwarzwild auf der Verwallung gesetzte E-Zaun wird ebenfalls regelmäßig von Vegetation befreit.



Abb. 2.2: Links: Mahlbusen und Pumpe für Zuwässerung, sowie vorn im Bild – Mönch (Überlauf) zur Regulierung des Wasserstands in einer Rohrkolbenkultur. Rechts: Auslauf Druckrohr Flächeninnenseite und Solarmodule im Hintergrund für den Betrieb der Solarpumpe (Fotos: J. Neubert, 2022; siehe auch Kapitel 7.1). Um den Wasserstand zu kontrollieren, sind regulierbare Wehre, Pumpen (mobil oder stationär) inkl. Energieversorgung (Solarmodule, Windrad, Dieselgenerator o. Stromanschluss) notwendig.

2. Flächeneinrichtung und Bewirtschaftung

Zur Verbesserung der Infrastruktur in- und außerhalb der Ernteflächen können folgende Maßnahmen zur Anwendung kommen (nach Wichtmann & Schröder 2016):

- Neubau befestigter Transportwege und Übergabepplätze,
- Anpassung bestehender Transportwege an hohe Wasserstände, ggf. Ertüchtigung oder Neubau von Brücken,
- Verbesserung der Zugänglichkeit der Fläche durch Grabenverfüllung und Arrondierung,
- Einrichtung zusätzlicher Zufahrten,
- regelmäßige Pflege und Wartung der Infrastruktur,
- ggf. Einsatz mobiler Fahrplatten an Zufahrten.

Paludikulturen sind Dauerkulturen. Es findet keine regelmäßige Bearbeitung des Oberbodens statt. Im Rahmen der Einrichtung einer Paludikulturfläche kann jedoch eine einmalige Bodenbearbeitung erforderlich sein. Eine Wiederholung kann notwen-

dig werden, wenn die Etablierung fehlgeschlagen ist oder wenn ein Wechsel der Zielart bzw. eine Erneuerung des Bestandes notwendig ist. Die Bodenbearbeitung dient der Bestandsetablierung, der Bereitung des Saatbetts bzw. der Reduzierung der Konkurrenz durch Wildkräuter während der Etablierungsphase. Hierfür können Erfahrungen aus der Grünlanderneuerung (z.B. Schlitzsaat) und der Erstaufforstung auf Grünland (z.B. Streifenfräse) genutzt und weiterentwickelt werden. Forstpflanzmaschinen etwa können für die Pflanzung von Anbau-Paludikulturen vor Beginn der Zuwässerung eingesetzt werden (Abb. 2.3).

Geringmächtiger Oberbodenabtrag kann erforderlich sein, um Moorflächen zu nivellieren oder um Bodenmaterial für das Anlegen von Dämmen oder das Verfüllen von Entwässerungsgräben zu gewinnen. Gleichzeitig wird damit der degradierte Oberboden entfernt und kann so die Etablierung einer Anbau-Paludikultur begünstigen (z.B. relevant für Torfmoos-Paludikultur).



Abb. 2.3 a+b: Maschinelle Pflanzung von Rohrkolben mit einer Forstpflanzmaschine (Fotos: a) T. Dahms, b) A. Nordt, 2019). Erfolgt die Pflanzung vor Zuwässerung, d.h. im noch entwässertem Zustand, kann die Pflanzmaschinentechnik mit gängiger Transporttechnik zum Einsatzort gebracht werden, es bestehen dann keine speziellen Anforderungen an die Infrastruktur.

2.2.2 Wasserrückhalt und Wassermanagement

Wasserbauliche Maßnahmen zum Wasserrückhalt sowie zur Zuwässerung und ggf. Ableitung dienen der Sicherung möglichst ganzjährig torferhaltender Wasserstände. Ein Wasserrückhalt kann z.B. über Grabenverschlüsse, Einbau von (regulierbaren) Stauen erreicht werden (z.B. Kratz & Pfadenhauer 2001), sowie auch über die Anlage von nahegelegenen Wasser-Reservoirs⁴. Wasserbauliche Maßnahmen zur Einrichtung einer Paludikulturfläche auf bisher entwässerten Flächen erfordern in vielen Fällen ein kontinuierliches Eingreifen in den Wasserhaushalt. Diese bedingte „Künstlichkeit“ dient dem Wiederherstellen flurnaher Wasserstände. Bauliche Anlagen wie Stauwerke sind in vielen Fällen erforderlich und erlauben eine gezielte Regulierung der Wasserstände. Neben dem Wasserrückhalt ist ggf. auch eine Bewässerung mit Zusatzwasser notwendig (LM M-V 2017a).

Das zu realisierende Wassermanagement ist abhängig von der Wasserverfügbarkeit, der Wasserqualität, den Standortbedingungen, dem Degradierungsgrad sowie den Ansprüchen der Kultur (siehe Kapitel 4.1). Für die Wiederherstellung torferhaltender Wasserstände ist in erster Linie zu prüfen, inwieweit dies mit einmaligen Maßnahmen, z.B. dem Rückbau oder Verschluss von Entwässerungsgräben, dem Einbau von Sohlenschwellen und Stauklappen oder der Errichtung von Dämmen erreicht werden kann. Diese Maßnahmen dienen vor allem dazu, Wasser in der Fläche zu halten. Sie bieten nur wenige Möglichkeiten, den Wasserstand gezielt zu steuern (Wichtmann & Schröder 2016). In den meisten Fällen kann hierüber nur ein stark fluktuierender Wasserstand erreicht werden.

Optimale Wasserstände für Paludikultur bedürfen oft weiterer Maßnahmen (Wichtmann & Schröder

2016). Die veränderte Porenstruktur des Bodens hat auch die Wasserleitfähigkeit verändert, was zu einer eingeschränkten Wasserbewegung von den Gräben in die Fläche mittels Grabeneinstau führt (Luthardt & Zeitz 2018), so dass auch bei hohem Grabenwasserstand die Wasserstände in der Fläche aufgrund der sommerlichen Verdunstung tief absinken. Durch den Rückhalt von Wasserüberschüssen aus dem Winterhalbjahr kann lediglich das Absinken der Wasserstände im Sommer begrenzt werden. Es sind weiterhin Wasserstände von mehr als 1 m unter Flur möglich (z.B. Limberg 2022). Dieses tiefe Absinken kann durch einen hohen Überstau von Winterwasser reduziert werden, wofür vor allem Moore mit Muddeunterlagen oder mit stauenden Mineralbodenunterlagen geeignet sind (Wahren et al. 2016, Wahren 2016; Landgraf 2018). Je höher und dadurch länger das überstaute Winterwasser in den Sommer hinein gehalten werden kann, desto länger kann das Absinken der Wasserstände verhindert werden (Abb. 2.4). Die Poren im Torf können im Vergleich zum Überstau viel weniger Wasser speichern, wodurch der rasche Abfall nach Absinken unter Flur zu erklären ist. Steht ausreichend Zusatzwasser zur Verfügung, kann der saisonale Mehrbedarf auch durch sommerliche Zuwässerung mittels Grabenüberstau ausgeglichen werden. Liegt die Bodenoberfläche durch Höhenverlust des Torfkörpers deutlich unter dem Niveau der Vorflut, kann die Zuwässerung über freien Zufluss erfolgen (Wichtmann & Schröder 2016). Für die Zuwässerung kann auch die Anlage von neuen Bewässerungsgräben erforderlich sein, um das Wasser in der Fläche optimal zu verteilen. Aufgrund der eingeschränkten hydraulischen Leitfähigkeit der degradierten Torfe, kann das Zusatzwasser nur durch einen periodischen Überstau in die Fläche gebracht werden (Limberg 2022). Zielwasserstände können über geeignete Messpunkte an Wehren, Stauanlagen, Schöpfwerken oder Pegeln dokumentiert und überprüft werden. In Gebieten mit sommerlichen Wasserentnahmeverboten ist dies allerdings nicht möglich.

⁴ z.B. umgesetzt für eine Torfmoos-Paludikultur in Westmecklenburg

2. Flächeneinrichtung und Bewirtschaftung

Ein Wiederherstellen der freien Vorflut mindert die Kosten für den dauerhaften Betrieb von Einrichtungen zur Wasserregulation. Weiterhin ermöglicht eine regelmäßige Überflutung eine Nachlieferung von Nährstoffen, kann aber bei längerem Überstau auch zu einem Nährstoffaustrag führen (siehe Kapitel 2.2.3). Die Wasserstände von Flächen in freier Vorflut unterliegen den natürlichen Schwankungen der Wasserstände der Vorflut. Dies kann die Bewirtschaftung einschränken, etwa durch Überstau zur Erntezeit, oder zu Wasserständen weit unter 20 cm unter Flur führen (LM M-V 2017a), wodurch die Produktivität ggf. verringert bzw. erhöht wird (abhängig von der Vegetation) sowie Torfzehrung einsetzt.

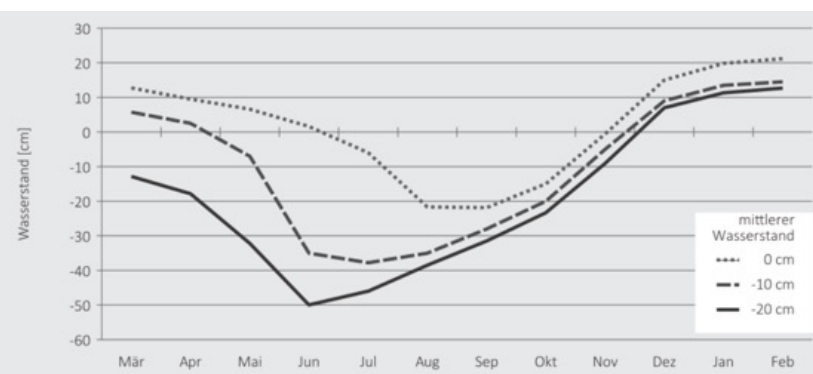


Abb. 2.4: Modellierter Wasserstands-Ganglinien für unterschiedliche Ausgangswasserstände eines Moores in Nordost-Deutschland (Wahren 2016). Bei einem Wasserstand, der im Jahresmittel in Flur ist, sind die Wasserstände im Winter bis 20 cm über Flur und im Sommer 20 cm unter Flur. Ein mittlerer Wasserstand von 20 cm unter Flur bedeutet, dass der Wasserstand im Winter 10 cm über Flur eingestaut ist, im Frühjahr unter Flur abgesenkt wird und dadurch während der Vegetationsperiode auf bis zu 50 cm unter Flur absinkt.

Torferhaltende Wasserstände sind außerhalb der Hochmoorregionen nur durch Zuwässerung mit einem periodischen sommerlichen Überstau zu erreichen oder durch einen hohen Überstau mit Wasserüberschüssen aus dem Winterhalbjahr (Abb. 2.4, Wahren 2016). Letzteres kann die Bewirtschaftbarkeit jedoch stark einschränken. Zudem bedarf es für einen ausreichenden Wasserrückhalt enge Staukaskaden und eine Unterteilung der Flächen durch Dämme. Andernfalls können torferhaltende Wasserstände in den Randbereichen der Moor-

komplexe nur durch permanenten Überstau und Nutzungsaufgabe der niedrig gelegenen Bereiche erreicht werden.

2.2.3 Nährstoffmanagement

In entwässerten Mooren haben sich durch Torfmineralisierung und Düngung viele Nährstoffe im Oberboden angereichert, sodass nach Wiedervernässung ein erhöhtes Risiko von Nährstoffausträgen in den Vorfluter besteht (Zak & Gelbrecht 2007). Im entwässerten Moor festgelegter Phosphor kann im Zuge der Wiedervernässung wieder mobilisiert werden. Verschiedene Studien zeigen, dass eine zunehmende Rücklösung von Phosphor in wiedervernässen, in der Vergangenheit entwässerten und aufgedüngten Mooren ein ernstzunehmendes Problem bezüglich der Wasserqualität darstellen, wenn diese ein ungünstiges Eisen-Phosphorverhältnis aufweisen (Land et al. 2016, Zak et al. 2014, Audet et al. 2020, Negassa et al. 2020, Walton et al. 2020). Stickstoff (N) wird durch die atmosphärische Deposition (ca. 12 kg in M-V bis über 30 kg N je ha*a in Niedersachsen⁵) kontinuierlich nachgeliefert. Ein weiterer Nährstoffeintrag erfolgt lateral aus der (landwirtschaftlich) genutzten Umgebung durch Oberflächen- und Grundwasserzufluss in den Moorkörper (Hinzke et al. 2021). Die Nährstoffanreicherung im Oberboden sichert in den ersten Jahren nach Nutzungsumstellung eine hohe Verfügbarkeit von Stickstoff und Phosphor (Emsens et al. 2017). Problematischer hingegen ist die Versorgung z.B. mit Kalium. Auch bei ausreichender Versorgung mit Stickstoff und Phosphor kann es aufgrund eines unausgewogenen Nährstoffverhältnisses zu einem Ertragsrückgang kommen (Vroom et al. 2022, Geurts et al. 2020). Zudem wird aufgrund der höheren Wasserstände die Nährstoffnachlieferung, die sich aus der Torfzehrung ergibt, abgebrochen. Diese führt insbesondere bei einer sommerlichen Nutzung zu einer sukzessiven Aushagerung der Standorte.

⁵ <https://gis.uba.de/website/dep01/>

Ein gezieltes Wassermanagement kann die Nährstoffversorgung der Flächen unterstützen und gleichzeitig den Eintrag von Nährstoffen in nachgelagerte Gewässer verringern. Insbesondere nährstoffbelastete Vorfluter können zur Bewässerung und für eine zusätzliche Nährstoffversorgung genutzt werden, sofern die jeweilige Paludikultur einen hohen Nährstoffbedarf hat. Für eine gleichmäßige Nährstoffversorgung ist eine möglichst flächige Überströmung anzustreben. Insbesondere Stickstoff wird anderfalls durch den Wurzelfilter bereits auf kurzer Strecke vollständig denitrifiziert. An Zu- und Abflüssen sollten regelmäßig Proben entnommen werden, um die idealen Durchströmungsraten/Verweilzeiten zu realisieren und eine Rücklösung von Nährstoffen (bei zu langen Verweilzeiten) aus dem Boden zu verhindern (Lenz 2001).

Mit der Ernte von Paludikulturen werden dem Standort in Abhängigkeit vom Erntetermin Nährstoffe entzogen. Je früher die Ernte, umso mehr Nährstoffe werden mit dem Erntegut exportiert (Geurts et al. 2020). Bei späteren Ernteterminen wurden Teile der in der oberirdischen Biomasse gebundenen Nährstoffe bereits in die Wurzeln und Rhizome verlagert bzw. über Niederschläge ausgewaschen.

Der Biomasseertrag von Rohrkolben (*T. latifolia*) und Schilf (*P. australis*) steigt mit einer höheren Nährstoffverfügbarkeit, vor allem Stickstoff ist dabei der limitierende Nährstoff (Geurts et al. 2020). Während Rohrkolben eine höhere Nährstoffaufnahmekapazität hat, hat Schilf eine höhere Nährstoffeffizienz und reagiert weniger stark auf verminderte Nährstoffgehalte. Bei einem (mittelfristigen) Rückgang der Verfügbarkeit von Stickstoff, Kalium und Phosphor ist bei Schilf daher langfristig gesehen mit stabileren Erträgen zu rechnen (Geurts et al. 2020).

Die Biomasseerträge auf einer langjährig vernässen Nass- bzw. Feuchtwiese mit Sommermahd in Mecklenburg-Vorpommern pendelten sich bei 3 – 6 t TM je ha* a ein (Wenzel et al. 2022).

Abhängig von Standort, Erntezeitpunkt und Qualität des Bewässerungswassers kann es zu Aushagerungseffekten kommen, wodurch die Produktivität des Standortes stark zurückgehen kann (Oehmke & Abel 2016). Die Zufuhr von Mangel-elementen, z.B. über das Bewässerungswasser, insbesondere bei zeitweiligem Überstau (Wenzel et al. 2022) kann die Kapazität zur Aufnahme von Phosphor und Stickstoff durch die Pflanzen fördern und somit das Nährstoffrückhaltepotential erhöhen. Es besteht Forschungsbedarf, insbesondere zu möglichen Effekten der Bereitstellung von Zuschusswasser durch die Einleitung größerer künstlicher Vorfluter in die Gebiete. Erfahrungen mit dem Einsatz von Bodenhilfsstoffen auf Paludikulturflächen liegen bisher nicht vor.

Nach geltender Gesetzeslage ist eine Düngung bei wassergesättigtem Boden nicht zulässig (Düngemittel-Verordnung DüV 2017⁶). Dies schließt alle Paludikulturflächen ein, da hier der Grundwasserflurabstand maximal 20 cm unter Flur beträgt und damit ganzjährig wassergesättigte Bodenverhältnisse vorliegen. Es besteht Forschungsbedarf dazu, ob und unter welchen Bedingungen Düngezugaben umweltverträglich in Paludikulturen eingesetzt werden können.

Torfmoose wachsen von Natur aus in nährstoffarmen Habitaten. Ihr Anbau unter nährstoffreichen Bedingungen ist mit dem erhöhten Aufwuchs von Gefäßpflanzen verbunden, die regelmäßig gemäht werden müssen, um das Torfmooswachstum nicht substantiell zu verringern. Wird das sichergestellt, ist Torfmooswachstum auch unter nährstoffreichen Bedingungen sehr gut möglich, jedoch kann

⁶ https://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/BJNR130510017.html

2. Flächeneinrichtung und Bewirtschaftung

das zur Förderung von anderen als den Zielarten führen. Deshalb ist die Bewässerung mit nährstoffarmem Wasser zu bevorzugen. Hierfür kann evtl. die Einrichtung von bepflanzten Filterbecken und Nutzung des gefilterten Wassers für die Bewässerung eine Lösung sein (siehe Kapitel 7.2).

2.2.4 Anbau-Paludikulturen

In diesem Unterkapitel werden Informationen zur Einrichtung von verschiedenen Anbau-Paludikulturen sowie spezifische Informationen zur Bewirtschaftung zusammengefasst, die bereits für Vorüberlegungen und Entscheidungen zur Auswahl einer Kultur relevant sind. Hierfür wird untergliedert in:

- Halmgutartige Anbau-Kulturen (Schilf, Rohrkolben, Rohrglanzgras, Seggen),
- Torfmoos-Paludikultur,
- Schwarzerle.



Abb. 2.5: Vogelvergrämung in einer Rohrkolben-Paludikultur in M-V (siehe Kapitel 7.1). Zur Vergrämung von Gänsen wurden über die Fläche verteilt vier aufblasbare Pooltiere in grellen Farben an Stangen befestigt. Zur Vergrämung von Schwänen wurde zusätzlich ein sogenannter ‚Turbo-Ball‘ installiert. Foto: S. Wichmann, 2020.

Für ausführlichere Informationen zu Bestandesführung und -management sind weitergehende Literaturhinweise und Weblinks angegeben. Außerdem werden in den Kapiteln 7.1 und 7.2 konkrete Umsetzungsbeispiele für die Anlage einer Torfmoos-Paludikultur bei Oldenburg sowie einer Rohrkolben-Kultur bei Neukalen detailliert vorgestellt.

Halmgutartige Anbau-Paludikulturen

Erfahrungen zur Anlage von Seggenrieden mit und ohne Entfernung der Grasnarbe wurden bereits in den 90er Jahren in der Friedländer Großen Wiese und im Rhinluch gesammelt (Roth et al. 2001). Im MoorUse-Projekt in Bayern funktionierte die Einsaat von Rohrglanzgras (*Phalaris arundinacea*) problemlos, während bei Seggen (*Carex spec.*) eine Pflanzung erfolgsversprechender war (beides mit intensiver Unkrautbekämpfung) (vorläufige Ergebnisse, persönliche Mitteilung, Tim Eickenscheidt, Oktober 2019). Im Forschungs- und Innovationsprojekt Moor-KU-LAP⁷ erfolgt die Entwicklung, Prüfung und Optimierung von Qualitätssaatmischungen aus nässeverträglichen Gräsern und Kräutern für bayerische Niedermoorstandorte sowie die Erprobung von Übersaaten mit nassetoleranten Arten.

⁷ <https://www.lfl.bayern.de/iab/kulturlandschaft/240564/index.php>

Box 2.1 Überblick über Maßnahmen bei der Einrichtung und Pflege von halmgutartigen Anbau-Paludikulturen

Halmgutartige Anbau-Paludikulturen, z.B.

Schilf (*Phragmites australis*), Rohrkolben (*Typha spp.*), Rohrglanzgras (*Phalaris arundinacea*)

(siehe auch Umsetzungsbeispiel „Rohrkolben-Anbau“ in Kapitel 7.1)

Flächenvorbereitung	<ul style="list-style-type: none">• Wasserrückhalt: Grabenverschlüsse, Staue, evtl. Kappung alter Dränrohre• Aufschütten von Verwallungen/Deichen/Fahrdämmen/zusätzlichen Zufahrten• Ggf. Terrassierung von hängigem Gelände• Infrastruktur zum Wassermanagement, ggf. wasserbauliche Maßnahmen
Wassermanagement	<ul style="list-style-type: none">• Wasserentnahme aus dem Vorfluter für die Zuwässerung: Regulierbarer Einlass bei freiem Zulauf, Mahlbusen oder Pumpschacht, Anlage von Gräben/Gruppen zur Bewässerung, Verlegen von Rohrleitungen, Einsetzen von regulierbaren Überläufen und Staukaskaden• Aktive Bewässerung durch Zupumpen erfordert Energiequelle entweder über Stromnetz oder dezentral (Solar-, Windenergie)
Bestandsbegründung, Saat und Pflanzung	<ul style="list-style-type: none">• Ggf. Pflügen, Eggen, Grubbern, Fräsen der Grasnarbe• Saat: nicht für Schilf geeignet, bei Rohrkolben nur auf ebenen Flächen mit aufbereitetem (pilletierten) Saatgut, da Abdriftgefahr; geeignete Saadmischungen sind für nasse Standorte noch in Entwicklung (z.B. LfL Bayern), regionale Herkünfte von vergleichbaren Standorten können nach Prüfung der Qualitätsparameter verwendet werden• Aussaatdichte Rohrglanzgras 15 – 25 kg je ha mit Reihenabstand von 12,5 cm• Pflanzung: Setzlinge per Hand oder maschinell mit Forst- oder Gemüsepflanzmaschinen• Pflanzdichte von Schilf 0,25 – 4 Pflanzen je m², Rohrkolben < 2 Setzlinge je m²• Vergrämung von Gänsen und Wildschweinen (Abb. 2.5)
Flächenpflege	<ul style="list-style-type: none">• Mahd von Verwallungen, ein- bis mehrmals pro Jahr• Pflegeschnitte während der Bestandsetablierung• Kontrolle, Wartung der Infrastruktur für das Wassermanagement
Ernte	<ul style="list-style-type: none">• Jährliche Ernte (Etablierungsdauer 1-3 Jahre)• (Raupenbasierte) Spezialtechnik, Ernte von Häckselgut, Ballen, Bündeln• Insbesondere für die Dachschild-Ernte sind auch Seigas (Technik mit großen Ballonreifen) etabliert• Zukünftig: autonome Leichtbau-Geräteträger
Ertrag	<ul style="list-style-type: none">• Schilf: 6-24 t TM je ha* a, im Winter 3-15 t TM je ha* a• Rohrkolben: 4-22 t TM je ha* a• Rohrglanzgras: 1,6–13 t TM je ha* a
Quellen und weitere Infos	<ul style="list-style-type: none">• Birr et al. (2021): Zukunftsfähige Land- und Forstwirtschaft auf Niedermooren. Steckbriefe für klimaschonende, biodiversitätsfördernde Bewirtschaftungsverfahren• Übersichten zu Paludikultur-Pflanzen- und Nutztierarten auf moorwissen.de• https://dss-torbos.de

Box 2.2 Überblick über Maßnahmen bei der Einrichtung und Pflege von Torfmoos-Paludikulturen

Torfmoos-Paludikultur (*Sphagnum spp.*) (siehe auch Umsetzungsbeispiel in Kapitel 7.2)

Flächenvorbereitung	<ul style="list-style-type: none">• Abbunken des degradierten, aufgedüngten Oberbodens und Anlegen einer gleichmäßig ebenen und weitgehend vegetationsfreien Torfoberfläche• Anlegen von Fahrdämmen (für Pflegemahd und Ernte, die vom Fahrdamm aus durchgeführt werden; zukünftig vor allem für Biomasseabtransport)• Zum Halten eines Wasserstandes ggf. Aufschütten von Verwallungen/Deichen/Fahrdämmen
Wassermanagement	<ul style="list-style-type: none">• Einrichtung von hydrologischen Einheiten mit homogenem Wasserstand (Kaskaden bei großen Reliefunterschieden, um Oberbodenabtrag zu minimieren!)• Installation von automatischen Pumpen inkl. Sensoren in den Bewässerungsgräben um die Torfmoos-Flächen• Anlage von Bewässerungsgräben und Durchlässen (exakt sukzessives Anheben mit aufwachsendem Torfmoosrasen nötig)• Regulierbare Überläufe um den Wasserstand mit dem Aufwachsen der Torfmoose anzuheben
Bestandsbegründung, Saat	<ul style="list-style-type: none">• Ausbringen von Moosabschnitten (lebende Torfmoose) mit ca. 80 % Ausgangsdeckung möglichst zu Beginn der Vegetationsperiode, die einen geschlossenen Torfmoosrasen ausbilden (Gaudig et al. 2018)• Faustzahl: 80 m³ je ha
Flächenpflege	<ul style="list-style-type: none">• Mahd zur Unterdrückung von Gefäßpflanzen, zukünftig ggf. durch autonome leichte Geräteträger• Beräumung der Bewässerungsgräben, Wartung der Pumpen• Mulchen der Fahrdämme
Ernte	<ul style="list-style-type: none">• Ernterhythmus: alle 3 – 5 Jahre (Etablierungsdauer: 1,5 – 3 Jahre)• Raupenbagger mit Mähkorb, Ernte vom Fahrdamm• Zukünftig: autonome leichte Geräteträger oder raupenbasierte Spezialtechnik mit Bunker
Ertrag	<ul style="list-style-type: none">• ~ 2 – 8 t TM je ha*a
Weitere Infos	<ul style="list-style-type: none">• www.torfmooskultivierung.de• Gaudig et al. (2018): <i>Sphagnum</i> farming from species selection to the production of growing media: a review.• Gaudig et al. (2017): <i>Sphagnum</i> farming on cut-over bog in NW Germany: Long-term studies on <i>Sphagnum</i> growth.

Schwarzerle

Hier und wiederkehrend in Kapitel 2.3, 2.4 und Kapitel 3 finden sich überblicksartig Informationen zu Anbau, Ernte und Verwertung von Erle als forst-

wirtschaftliche Nutzung vernässter Niedermoore. Der Fokus des Leitfadens liegt jedoch im Wesentlichen auf der landwirtschaftlichen Nutzung. Vertiefte Informationen zu Erle als Paludikultur siehe Literaturhinweise in Box 2.3.

Box 2.3 Überblick über Maßnahmen bei der Einrichtung und Pflege von Schwarzerlenbeständen auf Moor

Schwarzerle (*Alnus glutinosa*)

Flächenvorbereitung	<ul style="list-style-type: none"> • Herstellung einer freien Vorflut bzw. flurnaher Wasserstände • Ggf. Anlage von Rabatten um Überstau der Jungpflanzen zu vermeiden • Bei Grünlandflächen oder Ackerbrache: Mahd
Wassermanagement	<ul style="list-style-type: none"> • Freie Vorflut; zügiges Grundwasser • Lang anhaltenden hohen Überstau vermeiden (wird nicht toleriert)
Bestandsbegründung, Pflanzung	<ul style="list-style-type: none"> • Zweijährig verschulte Pflanzsortimente • Pflanzdichte: 3.000 – 3.500 je ha mit Reihenabstand 2 x 2 m • Bei nassen Standorten Pflanzung auf Rabatten • Setzen mit Hohlspaten oder motormanuelles Verfahren (Einmann-Erdbohrgerät, Pflanzlochbohrer), bei größeren Flächen Pflanzmaschinen (ggf. mit integrierter Fräse) • Verwendung geeigneter Pflanzenherkünfte • Beachtung des Forstvermehrungsgutgesetzes
Flächenpflege	<ul style="list-style-type: none"> • Jungwuchspflege: nach 8 Jahren ggf. Entnahme von schlecht geformten Bäumen, gezielte Förderung von ausgewählten Stämmen durch Entnahme von Nachbarbäumen • 4 – 6 Durchforstungen bis zur Ernte erforderlich
Ernte	<ul style="list-style-type: none"> • Bei Durchforstungen bodenschonende Verfahren, da eingeschränkte Befahrbarkeit (z.B. Seilzugverfahren) • Hieb reife nach 60 – 80 Jahren (für Wertholz)
Ertrag	<ul style="list-style-type: none"> • 600 – 800 m³ je ha Wertholz Gesamtwuchsleistung bis Alter 60
Weitere Infos	<ul style="list-style-type: none"> • Schäfer & Joosten (2005): Erlenaufforstung auf wiedervernässten Niedermooren. ALNUS-Leitfaden • Röhe & Schröder (2010): Grundlagen und Empfehlungen für eine nachhaltige Bewirtschaftung der Roterle in Mecklenburg-Vorpommern • Sündermann & Röhe (2014): Vollmechanisierte Holzernteverfahren auf Nassstandorten. • Sündermann et al. (2013): Bodenschonende Holzernte in geschädigten Eschenbeständen auf Nassstandorten Erkenntnisse und Empfehlungen aus Fallstudien in Mecklenburg- Vorpommern.

2. Flächeneinrichtung und Bewirtschaftung

2.2.5 Nasswiesen-Nassweiden Paludikultur (spontane Bestandsentwicklung/Sukzession)

Im Gegensatz zu Anbau-Paludikulturen erfolgt die Umwandlung zu einem Nassgrünland bzw. einer Nasswiese/Nassweide durch Sukzession, d.h. eine natürliche Veränderung der Vegetation nach Einstellung der hohen Wasserstände. Dabei ändert sich der Pflanzenbestand im Laufe von einigen Jahren ab dem Zeitpunkt der Wiedervernässung. Durch eine allmähliche Wasserstandsanhhebung und Vermeidung von hohem Überstau kann eine natürliche Etablierung bzw. Ausbreitung von nässetoleranten Arten, wie z.B. Seggen und Rohrglanzgras, gefördert und ein großflächiges Ausfaulen der Grasnarbe vermieden werden. Während dieses Bestandsumbaus kann die Biomasse auch weiterhin geerntet und zu Beginn auch noch in bestehende Nutzungspfade eingespeist werden. Der Aufwand für die Etablierung ist daher wesentlich geringer im Vergleich zu Anbau-Paludikulturen (siehe Kapitel 2.2.4). Samen der ursprünglichen Moorvegetation können über viele Jahre im Boden überdauern. Ebenso können Nasswiesenarten an Grabenrändern etabliert sein und von dort die Fläche wieder besiedeln. Viele Pflanzenarten, die an hohe Wasserstände angepasst sind, haben schwimmfähige Samen, die durch Überflutungsereignisse und Grabeneinstau in die Fläche gelangen können (Birr et al. 2021). Bei fehlenden Diasporen kann, insbesondere bei vormals intensiv genutztem Saatgrasland, eine Übertragung von Mahdgut von bestehenden Nasswiesen regional vorhandener Bestände erforderlich sein.

Für die Pflege und Bewirtschaftung von Nassgrünland kann auf Erfahrungen in der Landschaftspflege zurückgegriffen werden (siehe Kapitel 2.3). Die Umstellung auf Nassgrünland ergibt vielfach Synergien⁸ mit bestehenden Naturschutzziele,

wodurch sie auch auf Flächen mit bestehendem Schutzstatus umgesetzt werden kann (LM M-V 2017a, Tanneberger et al. 2020, Nерger & Zeitz 2021). Dadurch ergibt sich ein großes Flächenpotential für Nasswiesen und Nassweiden. Die betriebliche Umstellung auf Nasswiesen- oder Nassweiden-Paludikultur ist weniger kostenaufwendig (siehe Kapitel 2.3) und mit weniger Unsicherheiten behaftet im Vergleich zu einer Umstellung auf Anbau-Paludikulturen. Daher gibt es kurz- bis mittelfristig ein hohes Potential in der Umstellung auf Nasswiesen- und Nassweidenbewirtschaftung. Aktuell gibt es bereits eine Gesamtfläche von schätzungsweise ca. 15.000 ha Nasswiesen bzw. Feuchtwiesen in Deutschland, auf denen eine extensive Bewirtschaftung stattfindet und neue Verwertungswege für die Aufwüchse gesucht werden. Mit steigendem Flächenumfang und damit verbundener Anstieg der Rohstoffverfügbarkeit, ist mit einem Innovations- und Nachfrageschub für die Verwertung von Nasswiesen-Biomasse zu rechnen.

Die extensive Beweidung von nassen und wiedervernässten Mooren ist vorrangig als Landschaftspflege etabliert. Für eine (ganzjährige) Beweidung kommen auf nassen Standorten kleinrahmige Weiderassen sowie Wasserbüffel in Betracht, welche auch Binsen, Rohrkolben und Schilf fressen (Müller & Sweers 2016).

Birr et al. (2021) geben detaillierte Informationen zu der Beweidung mit Wasserbüffeln, sowie zur Gatterhaltung mit Rotwild und Pferden als tiergebundene Nutzungsoption für vernässte Niedermoore und die Beweidung mit Robustrindern und Gänsen auf feuchten Standorten. Auf die Vermarktungsoptionen der tiergebundenen Verfahren sowie dem Flächen- und Herdenmanagement wird in Kapitel 3.1 ausführlicher eingegangen. Im Kapitel 7.3 wird zudem ein konkretes Praxisbeispiel der Beweidung von Feucht- und Nasswiesen in Bayern näher vorgestellt.

⁸ z.B. für Wiesenbrutvogelschutz, siehe z.B. <https://life-limicodra.de/de/>

Box 2.4 Überblick über Maßnahmen bei der Einrichtung und Pflege von Nasswiesen/Seggenrieden

Nasswiesen/Seggenriede

Flächenvorbereitung	<ul style="list-style-type: none">• Reduzierter Aufwand für Bodenbearbeitung, ggf. Einrichtung von Staukaskaden
Wassermanagement	<ul style="list-style-type: none">• Freier Zulauf, freie Vorflut (dann jedoch ggf. sommerliches Absinken der Wasserstände)• Anstau/Einstau/Überstau, ggf. zweiseitige Wasserregulierung• Überstau von Winterwasser für Wasserbevorratung und/oder Anlage von Wasser-Reservoirs• Für torferhaltende Wasserstände auch Zuwässerung im Sommer mit kurzzeitigem Überstau
Bestandsbegründung	<ul style="list-style-type: none">• Spontane Bestandsentwicklung• Ggf. Mähgutübertragung
Flächenpflege	<ul style="list-style-type: none">• Narbenpflege, zur Etablierung/Erhalt einer tragfähigen Grasnarbe ist bei Beweidung ggf. ein Nachmähen erforderlich bzw. bei Mahd zusätzliche Pflegeschnitte; Narbenpflege nur möglich, wenn vereinbar mit etwaigen Naturschutz-/Managementvorgaben• Technik mit geringem Bodendruck (möglichst 100 bis 120 g/cm²) um Schäden an Grasnarbe und Torfkörper zu vermeiden
Ernte	<ul style="list-style-type: none">• Kettenbasierte Spezialtechnik, ggf. angepasste konventionelle Grünlandtechnik, sofern ein sommerliches Absinken der Wasserstände nicht vermieden werden kann• Ernte von Häcksel oder Ballen
Ertrag	<ul style="list-style-type: none">• jährliche Ernte• Großseggenried: 2 – 12 t TM je ha*a• Mischbestände: 3 – 6 t TM je ha*a
Quellen & Weitere Infos	<ul style="list-style-type: none">• Birr et al. (2021): Zukunftsfähige Land- und Forstwirtschaft auf Niedermooren. Steckbriefe für klimaschonende, biodiversitätsfördernde Bewirtschaftungsverfahren• Wenzel et al. (2022): Bioenergie aus Mooren. Thermische Verwertung von halmgutartiger Biomasse aus Paludikultur.

Box 2.5 Maßnahmen bei der Einrichtung und Pflege von Nassweiden

Nassweiden mit Wasserbüffeln (siehe auch Kapitel 7.3: Beweidung im schwäbischen Donaumoos)

Flächenvorbereitung	<ul style="list-style-type: none">• Einzäunung mit mind. doppeltem Elektrozaun und angepasst auf nasse Standorte• Wasserversorgung einrichten (Tränke)• Weideunterstand für Schutz vor Kälte und Sonne• Zugang zu einem trockenen (mineralischen) Flächenteil als Rückzugsraum sicherstellen, ggf. künstliche Anlage von befestigter Liegefläche
Bestandsbegründung	<ul style="list-style-type: none">• Spontane Sukzession
Wassermanagement	<ul style="list-style-type: none">• Freier Zulauf• Anstau/Einstau, im Sommer nach Umtrieb kurzzeitiger Überstau
Flächenpflege	<ul style="list-style-type: none">• Ausmähen der Zauntrasse• Ggf. Nachmahd zur Pflege der Grasnarbe
Besatzdichte	<ul style="list-style-type: none">• Standweide• Um eine robuste trittfeste Grasnarbe zu etablieren/erhalten, ist eine möglichst vollständige Aufnahme der Aufwüchse durch das Weidevieh erforderlich. Dies kann durch Parzellierung und Umtrieb mit einer hohen Besatzleistung oder durch eine lange Weideperiode erreicht werden. Als Maß eignet sich die Besatzleistung (GVE-Tage/ha). Kennzahlen für unterschiedliche Vegetationstypen und Weiderassen sind zu entwickeln.
Zuwachs	<ul style="list-style-type: none">• Bis zu 840 g pro Tag und Kalb
Weitere Infos	<ul style="list-style-type: none">• Kapitel 3.1 Tiergebundene Verfahren• Birr et al. (2021): Zukunftsfähige Land- und Forstwirtschaft auf Niedermooren. Steckbriefe für klimaschonende, biodiversitätsfördernde Bewirtschaftungsverfahren

2.3 Technik für Paludikultur

Vorbetrachtend ist festzuhalten, dass die Ernte-technik für Paludikultur noch in den Kinderschuhen steckt. Beispiele aus der Landschaftspflege oder der Rohrwerbung zeigen jedoch, dass eine schlagkräftige Bewirtschaftung nasser Standorte möglich ist. Hierbei kommen zum Teil schwere Umbauten verfügbarer Trägermaschinen zum Einsatz, welche über eine große Bodenaufstandsfläche das Problem der hohen Eigengewichte lösen. Viele dieser Technikkonzepte sind Prototypen bzw. für spezielle Anwendungen für den Einsatz auf verhältnismäßig kleiner Fläche entwickelt worden. Die Existenz dieser Prototypen gibt nur wenig Aufschluss darüber, ob sie sich bewährt haben und auch nicht, ob sie auf Paludikultur auf großer Fläche übertragen werden können. Zum Beispiel werden auf kleinen Flächen bevorzugt Maschinen eingesetzt, die alle Arbeitsschritte erledigen können. Zukünftig sollen jedoch große Flächen beern- tet werden, zudem unterliegt Paludikultur einem wirtschaftlichen Effizienzdruck. Für die Realisierung schlagkräftiger Erntekonzepte bedarf es daher einer Trennung von Ernte- und Transportfahrzeugen. Neben den Anforderungen einer schlagkräftigen Logistikkette, können hierbei Eigengewicht und Motorisierung auf die jeweilige Tätigkeit abgestimmt werden. In den letzten Jahren ist eine rasante Entwicklung bei Spezialmaschinen oder der Adaptation bestehender Technik zu beobachten. Dies ermöglicht es, ein auf die jeweiligen Erfordernisse angepasstes Technikkonzept zu realisieren. Bei der Wahl sollten die folgenden Informationen berücksichtigt werden.

Technikbedarf

Die Bewirtschaftung von Paludikulturen erfordert Technikeinsatz für verschiedene Aktivitäten:

- Flächenvorbereitung
- Bestandsbegründung (Saat oder Pflanzung)

- Bestandspflege (Beikrautmanagement, Schröpfschnitte, ggf. Nachsaat)
- Ernte inklusive erste Aufbereitung (Schneiden, Häckseln, Pressen, Bündeln, ggf. Reinigung von z.B. Schilfrohr auf der Fläche)
- Abtransport des Erntegutes zum Flächenrand bzw. Überladeplatz

Die Flächenvorbereitung umfasst die baulichen Maßnahmen für Wasserrückhalt und Zuwässerung sowie ggf. der Nivellierung der Fläche (siehe Kapitel 7.1 und 7.2). Findet die Ersteinrichtung von halmgutartigen Anbau-Paludikulturen vor der Anhebung der Wasserstände statt, wird keine angepasste Spezialtechnik benötigt (siehe Kapitel 2.2.1 und 7.1). Die Einrichtung von Torfmoos-Paludikultur oder Maßnahmen, bei denen die Grasnarbe flächig entfernt wird (Nivellierung), erfordert bereits bei der Vorbereitung der Fläche und für die „Aussaat“ Technik mit einem geringen Bodendruck, z.B. eine umgebaute Pistenraupe mit einem aufgesattelten Stalldungstreuer zum Ausbringen der Torfmoose (siehe Kapitel 7.2).

Für Bestandspflege, Ernte und Abtransport des Erntegutes von der Fläche ist je nach Zustand der Grasnarbe, der Einsatz angepasster landwirtschaftlicher Technik oder Spezialtechnik notwendig und wird im Folgenden für die verschiedenen Paludikulturen beschrieben. Überladung, Transport und Lagerung kann wiederum mit vorhandener Landtechnik erfolgen.

Standörtliche Grundlagen

Der Einsatz von (Ernte-)Technik auf nassen und vernässten Moorböden ist abhängig von der Tragfähigkeit der Grasnarbe und der Standfestigkeit des Untergrunds. Die Vegetation, der Wasserstand und der Bodenzustand bzw. der Grad der Degradierung sind weitere Einflussfaktoren. Die Tragfähigkeit wird im Wesentlichen durch die Artenzusammensetzung und die Narbenpflege ge-

2. Flächeneinrichtung und Bewirtschaftung

prägt. Die beiden Parameter Scherfestigkeit und Eindringwiderstand (Box 2.6) können genutzt werden, um die Befahrbarkeit einzuschätzen und die Auswirkungen der Befahrung auf den Moorboden abzuschätzen (Wiedow et al. 2016).

Weitere Informationen:

- Kapitel 4 „Ernte und Logistik“ in Wichtmann et al. (Hrsg) (2016): Paludikultur – Bewirtschaftung nasser Moore.
- Kapitel 2.3 „Ökonomie/Ökobilanz mal durchgerechnet: So lohnt es sich für Betrieb und Klima“ in Wenzel et al. 2022: Bioenergie aus nassen Mooren. Thermische Verwertung von

halmgutartiger Biomasse aus Paludikultur. S. 38-48

- Wissenschaftliche Begleitung von Zuwendungsempfängern der EFRE-Förderrichtlinie Moorschutz (ProMoor), Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Eberswalde,
- Weitere Akteure in verschiedenen Bundesländern, z.B. Landschaftspflegeverbände in moorreichen Regionen, Lokale Aktionen und Stiftung Naturschutz (Schleswig-Holstein), ARGE Klimamoor (Brandenburg), ARGE Donaumoos (Bayern), 3N Kompetenzstelle Paludikultur (Niedersachsen) verfügen über Praxiserfahrung und stellen diese auf Feldtagen zur Verfügung.

Box 2.6 Scherfestigkeit & Eindringwiderstand

Die Scherkraft ist eine Kraft, deren Wirkungsrichtung parallel zu einer Fläche liegt. **Scherfestigkeit** gibt die maximale Scherspannung an, mit der ein Körper vor dem Abscheren belastet werden kann (Kraschinski et al. 1999, Schmidt 1980, Schreiner 1967). Gemessen wird die Scherfestigkeit mit dem sogenannten Scherflügel (Prochnow & Kraschinski 2001).

Eindringwiderstand ist der Widerstand des Bodens gegen eine Auflast. Er ist abhängig von Lagerungsdichte, Wassergehalt, Porengrößenverteilung und Struktur der organischen Substanz (Horn 1984). Gemessen wird der Eindringwiderstand mit dem Penetrometer (Dürr et al. 1995).

Die Scherfestigkeit gibt Aufschluss über die Belastbarkeit der Grasnarbe, der Eindringwiderstand über die Festigkeit des Untergrunds (MLUK in Vorb., Wiedow et al. 2016). Die Kombination von Eindringwiderstand und Scherfestigkeit bedingt, wie tief die Erntetechnik in Abhängigkeit vom jeweiligen Bodendruck in den Torfkörper einsinkt. Je tiefer die Aufstandsfläche (Rad, Kette) eindringt umso steiler ist der „Berg“, den die Technik „hochfahren“ muss und umso höher die Zugkräfte, die auf die Grasnarbe wirken. Übersteigen die wirkenden Zugkräfte die Scherfestigkeit, kommt es zum Abriss und Durchbruch der Grasnarbe.

2.3.1 Die Herausforderungen bei der Bewirtschaftung nasser und vernässter Moorböden

Die Durchwurzelung der obersten 10 cm spielt eine zentrale Rolle für die Befahrbarkeit (Schmidt 1995). Unterhalb der durchwurzelten Schicht (15 – 30 cm Tiefe) ist die Scherfestigkeit bei trockenen, degradierten Torfen mit Aggregierungsgefüge höher als bei Mudden (MLUK in Vorb.). Sie nimmt mit der Dichte des Pflanzenbestandes zu und bei höherer Bodenfeuchte ab. Ein vermulmter, d.h. stark degradierter Moorboden hat wiederum ein Einzelkorngefüge mit nur geringem Zusammenhalt, weist somit nur geringe Scherfestigkeiten auf (Wiedow et al. 2016) und ist nach Wiedervernässung wenig tragfähig. Die Tragfähigkeit der Grasnarbe ist bei Flutrasen am geringsten, steigt bei Rohrglanzgras- und Schilfröhrichten an und ist bei Seggenrieden am höchsten (Prochnow & Kraschinski 2001, Wiedow et al. 2016). Nach Zerstörung der Grasnarbe siedeln sich vorwiegend Arten der Flutrasen an, wodurch die Tragfähigkeit auch bei älteren Narbenschäden und anderen Störstellen deutlich geringer ist (MLUK in Vorb.).

Bei der Wiedervernässung von Grünland – vor allem während eines sukzessiven Vegetationsumbaus, bis Rohrglanzgrasröhrichte und Seggenriede einen dichten Wurzelfilz gebildet haben – sind die **Narbenpflege** und die Vermeidung von Narbenschäden während des Befahrens der Fläche wesentliche Bestandteile der Bewirtschaftung von (halmgutartigen) Paludikulturen, bzw. Nassgrünland.

Eine weitere Herausforderung besteht bei produktiven Beständen in dem hohen Biomasse-Aufkommen während der Ernte. Entsprechend hoch sind die Anforderungen an Mähwerke, an Aufnahme- und Zuführungsvorrichtungen sowie an den hohen (bodenschonenden) Transportaufwand zum Flächenrand. Bei trocken geernteten Aufwüch-

sen stellt die geringe Schüttgutedichte bzw. das große Volumen eine Herausforderung dar und erfordert eine Aufbereitung auf dem Feld (häckseln, bündeln, pressen), bei frischer Biomasse stellt das hohe Gewicht ein Problem dar und minimiert die Zuladung (Dahms et al. 2017). Für den effizienten Transport von frischem, d.h. schwerem Mähgut zum Flächenrand bzw. Überladeplatz besteht noch Entwicklungsbedarf. Um eine Lagerfähigkeit zu erreichen, muss frisches Mähgut entweder extern (aktiv oder passiv) getrocknet oder, ggf. unter Beigabe von Silierhilfen siliert werden.

Anpassung der Flächen-Bewirtschaftung

Neben dem Einsatz angepasster Erntetechnik (siehe unten) sollte auch eine angepasste Art der Bewirtschaftung und Logistik berücksichtigt werden. Dazu zählen folgende Punkte (basierend auf MLUK in Vorb., Schröder & Dettmann 2016, Wichmann et al. 2016, Wiedow et al. 2016, Schröder et al. 2015):

- Errichtung von Fahrdämmen, von denen ein flächiger Zugang zur Erntefläche möglich ist (Gräben in Mitte der Fläche, nicht am Weg!),
- Ggf. Grabenverfüllungen um einen flächigen Zugang von bestehenden Wegen zu ermöglichen
- Einrichtung ergänzender Zuwegungen,
- Kalkulation der sich aus der Infrastruktur und Biomasseaufkommen und Ladekapazität ergebenden Transportfahrten,
- Verfestigung des Vorfelds von Überfahrten oder von Zuwegungen durch Auffüllung mit Mineralboden,
- Anlegen befestigter Lager- und Umschlagplätze am Feldrand,
- Fahrspurplanung, um enge Kurvenradien und Mehrfachüberfahrten zu vermeiden,
- Markierung von Störstellen bzw. GPS gestütztes Ausmähen mit Hilfe eines Seitenmähwerks,

2. Flächeneinrichtung und Bewirtschaftung

- Flächenkenntnis und Erfahrung des Fahrers stellen eine Grundvoraussetzung dar.

Technische Anpassungen der eingesetzten Maschinen

Die Minimierung des Bodendrucks ist das zentrale Ziel der angepassten Technik. Vielfach wird ein Richtwert von ca. 100 g/cm² empfohlen, um die Grasnarbe und den Torfkörper nicht zu schädigen (Wichmann et al. 2016). Neben der angepassten Bewirtschaftung gibt es mehrere Möglichkeiten, den Bodendruck der eingesetzten Maschinen zu reduzieren:

- Reduzierung des Gesamtgewichtes, durch Nutzung von Kleintechnik oder Verwendung leichter Bauteile
- Vergrößerung der Auflagefläche
 - Bei herkömmlicher Landtechnik:
 - Doppel-/Zwillingsbereifung, mit abgerundeter Schulter und großer Stollenaufstandsfläche
 - Absenken des Reifeninnendrucks
 - Delta-Laufwerke
 - Kettenbasierte Spezialtechnik
 - Radbasierte Spezialtechnik

Wichtig ist zudem das Ausbalancieren des Maschinengewichts, der Ernteaufsätze und der Zuladung. Bei einer separaten Nutzung von Ernte- und Transportfahrzeugen kann die Arbeitsbreite leistungsstarker Erntemaschinen vergrößert werden, wodurch die Schlagkraft erhöht, und der Anteil überfahrener Fläche reduziert wird. Für die Bergung der Biomasse können dann leichte Transportfahrzeuge eingesetzt werden.

Es bestehen verschiedene **Vor- und Nachteile der Technikanpassungen**, die nachfolgend zusammengefasst werden (erweitert nach Wichmann et al. 2016, Schröder et al. 2015, MLUK in Vorb., Wenzel et al. 2022):

Kleintechnik (handgeführte Technik, Einachstraktoren, Kleintraktoren) ist nur kleinflächig einsetzbar aufgrund geringer Arbeitsbreite und daher niedriger Flächenleistung. Eine ausführliche Übersicht findet sich z.B. in Wichmann et al. (2016). Ein Potential besteht im zukünftigen Einsatzbereich autonomer leichter (Schwarm-)Technik, z.B. Geräteträger für einzelne Verfahrensschritte (Pflegeschnitte auf Torfmoosflächen, Transport von Biomasse zum Flächenrand und weitere).

Angepasste Grünlandtechnik hat eine hohe Flächenleistung bei der Mahd, ist jedoch witterungsabhängig („Heuwetter“, Wenzel et al. 2022; Abb. 2.9) und abhängig von der Narbenpflege. Sie ist bei trockener Witterung mit sommerlichem Absinken der Wasserstände einsetzbar. Der Abtransport der Biomasse in Ballen erfolgt gewichtsbedingt z.T. einzeln zum Flächenrand. Dies sollte durch Anpassung der Erntetechnik und Optimierung des Logistikkonzeptes möglichst vermieden werden. Der Einsatz von **Doppelbereifung** führt zu höheren Rüstzeiten, da ein zweiter Reifensatz am Feldrand mit Hilfe eines zweiten Schleppers montiert/demontiert werden muss. Ein absenkbarer **Reifeninnendruck** vergrößert die Aufstandsfläche und reduziert damit den Kontaktflächen- und Reifendruck. Mit Reifendruckregelsystemen kann der Reifeninnendruck leicht reguliert werden und reduziert Dieselverbrauch, Arbeitszeit und Reifenverschleiß. Leistungsstarke Schlepper können mit **Delta-Laufwerken** ausgestattet werden (Abb. 2.9 rechts). Diese können bei großen Arbeitsbreiten eine hohe Schlagkraft erreichen, allerdings bei hohem Gewicht. Um die Bodenbelastung zu minimieren, sollte ein Aufstoppen in der Fläche vermieden und eine konstante Arbeitsgeschwindigkeit gewählt werden. Die Anpassungsmöglichkeiten für herkömmliche Landtechnik reichen trotzdem nicht aus, um den Bodendruck auf ca. 100 g/cm² zu reduzieren, der jedoch für die Bewirtschaftung von nassen und vernässten Moorböden mit torf-

erhaltenden Wasserständen auch im Sommer notwendig ist.

Radbasierte Spezialtechnik in Form von Ballonreifen mit Niedrigdruck wird vielfach in der Rohrwerbung verwendet und erreicht den benötigten geringen Bodendruck. Mit ihr verbunden ist ein hoher Arbeitskrachteinsatz (Abb. 2.6, 2.7). Im Einsatz sind oft alte Maschinen mit begrenzter Motorleistung oder Eigenkonstruktionen/Nachbauten. Bei höherem Überstau besteht die Gefahr des Aufschwimmens und damit Manövrierschwierigkeiten, sowie ggf. Bodenschäden durch Schlupf.

Kettenbasierte Spezialtechnik kombiniert Bodenschonung und die erforderliche Schlagkraft, um Erntezeiträume effizient zu nutzen und Kosten zu senken (Abb. 2.6, 2.8). Der Einsatz von Raupenfahrzeugen kann bei (engen) Kurvenfahrten und wiederholten Überfahrten der gleichen Stellen zu Schädigungen an der Grasnarbe führen (Närmann 2018, Schröder et al. 2015). Dies lässt sich durch eine Anpassung der Ketten reduzieren (z.B. Gummiketten, Wichmann et al. 2016). Die Ketten sollten ein Breite-Länge-Verhältnis von 1:4 bis 1:5 haben, da lange Ketten die Scherkräfte bei Kurvenfahrten erhöhen (Schröder et al. 2015). Breitere Ketten vergrößern die Auflagefläche und reduzieren damit den Bodendruck. Da Raupentechnik allerdings mittels Tieflader transportiert werden muss, sollte die Maschinenbreite nicht über 3 m sein, damit ein Transport über Straßen möglich ist. Alternativ muss ein aufwendiges Abziehen der Ketten erfolgen oder eine Sondergenehmigung wegen Überbreite beantragt werden. Eine Vergrößerung der Transportleistung zum Feldrand kann durch Vergrößerung der Ladekapazitäten und/oder Kompaktierung der Biomasse während des Ernteprozesses erreicht werden. Von Nachteil ist bei größerer Zuladung die sich ändernde Gewichtsverteilung der

Maschine sowie das steigende Gesamtgewicht. Unabdingbar für eine hohe Schlagkraft bzw. Flächenleistung ist ein abgestimmtes Ernte- und Logistikkonzept. Kettenbasierte Spezialtechnik ist zudem mit hohen Investitions- und Unterhaltungskosten verbunden, die durch eine hohe Auslastung kompensiert werden müssen (Wenzel et al. 2022).

Im Weiteren werden die verschiedenen Möglichkeiten der Spezialtechnik für ausgewählte Paludikulturen vorgestellt.

2.3.2 Ernte von halmgutartigen Paludikulturen

Einen ausführlichen Überblick über Erntetechnik, Ernteverfahren und Anforderungen an die Technik geben Schröder et al. 2015, sowie Wichmann et al. 2016, Schröder et al. 2016 und Dahms et al. 2017. Der Einsatz und die Erprobung angepasster Technik zur bodenschonenden Bewirtschaftung von Moorstandorten im Rahmen der EFRE-Förderrichtlinie Moorschutz in Brandenburg (2020 – 2023)⁹ wird in der Praxis begleitet, um Auswirkungen auf den Moorboden zu ermitteln und die Erfahrungen für weitere Anwendungen verfügbar zu machen. Zwischenergebnisse dieser wissenschaftlichen Begleitung sind in MLUK (in Vorb.) dargestellt. Bisher war vor allem die Landschaftspflege der Treiber für (Weiter-)Entwicklungen von angepasster bzw. Spezialtechnik für nasse Moorböden (z.B. Wijns et al. 2018), zunehmend werden auch die technischen Herausforderungen bei der Ernte von (Anbau-) Paludikulturen adressiert (z.B. Korthorst 2022, Dahms 2017, Forschungs- und Entwicklungsvorhaben GesaSpan¹⁰ und TyphaSubstrat¹¹).

Eine Modellrechnung zu Arbeitszeiten für die Ernte von Paludikulturen zeigt deutlich, dass die Verwendung ketten- und radbasierter Spezialtechnik zeit-

⁹ <https://www.hnee.de/de/Fachbereiche/Landschaftsnutzung-und-Naturschutz/Forschung/Forschungsprojekte/Aktuelle-Projekte/ProMoor/Wissenschaftliche-Begleitung-von-Zuwendungsempfängern-der-EFRE-Frderrichtlinie-Moorschutz-ProMoor-E11383.htm>

¹⁰ <https://pflanzen.fnr.de/projekte/projektuebersicht/projekte-details?fkz=2220MT002X&cHash=8b95b8c02314a2f1a5815d276dfaf319>

¹¹ <https://pflanzen.fnr.de/index.php?id=11381&fkz=2220MT003B>

2. Flächeneinrichtung und Bewirtschaftung

aufwendiger ist als der Einsatz angepasster Landtechnik. Letztere kann allerdings wegen zu hohem Bodendruck nicht auf nassen Moorböden eingesetzt werden (siehe oben, Wenzel et al. 2022). Die moderne Dachschilf-Erntetechnik kann, aufgrund eines effizienten Transportes von Schilf in Großbunden und Übergabe dieser an Transportfahrzeuge, bereits eine sehr hohe Ernteleistung erreichen. Durch die Übergabe an Transportfahrzeuge werden Transportfahrten von Erntemaschinen deutlich verringert. Um Ausfallzeiten der Maschinen durch Störungen und Defekte zu minimieren, die u.a. aufgrund der erhöhten Belastung der Maschinen im Einsatz auf nassen Böden auftreten, nimmt die Wartung und Pflege der Maschinen mehr Zeit in Anspruch als bei angepasster Landtechnik (Wenzel et al. 2022).

Die Ernte der Biomasse bestimmt bereits die nachgelagerte Logistikkette, die Art des Abtransportes, die Lagerungsoptionen und die Verarbeitungs- und Verwertungsmöglichkeiten der Biomasse. So sind, abhängig von der nachfolgenden Verwertung, spezifische Anforderungen an das Erntegut hinsichtlich der Inhaltsstoffe und/oder Aufbereitungsformen bei der Ernte zu berücksichtigen. Das kann z.B. die Bereitstellung von bestimmten Faser- und Halmlängen betreffen, die Trennung oder Abscheidung einzelner Pflanzenteile während der Ernte, die Art der Komprimierung sowie die für die Lagerung und Weiterverbreitung erforderliche (Rest-) Feuchte (siehe Kapitel 3). Die erwünschten bzw. unerwünschten Inhaltsstoffe für die weitere Verwertung – z.B. Eiweißgehalte, Zellulose und Hemicellulosegehalte, Ligninanteile aber auch Elementgehalte – werden u.a. durch den Erntetermin bestimmt. Dieser wiederum hat Einfluss auf die einsetzbare Technik.

Schilf

Die Ernte von Dachschilf (Rohrwerbung) ist traditionell auf kleinen Flächen vor allem in Nord-

deutschland etabliert (Abb. 2.6). Hierbei wurden vor allem Seiga-Maschinen eines dänischen Herstellers mit Ballonreifen eingesetzt, die allerdings nicht mehr produziert werden. In Polen und der Ukraine kommen Nachbauten dieser Maschine bei der Schilfernte zum Einsatz. In jüngerer Zeit werden zunehmend neue oder umgebaute Raupenfahrzeuge verwendet. In den Niederlanden liegen mehrere Jahrzehnte Erfahrung mit dem Einsatz und der Weiterentwicklung von raupenbasierter Erntetechnik vor (Wichmann et al. 2016). Schilf kann auch in Sommermahd in Form von Häckseln oder Ballen geerntet werden (Tab. 2.8). Dabei sollte allerdings berücksichtigt werden, dass Sommermahd das Schilf allmählich zurückdrängt und eine Verschiebung der Pflanzenartenzusammensetzung, z.B. Richtung Seggenried, zur Folge hat.

Rohrkolben

Die Befahrung mit rad- und raupenbasierter Spezialtechnik wurde in verschiedenen Rohrkolbenbeständen im Sommer und Winter in Deutschland und den Niederlanden erfolgreich durchgeführt (Korthorst 2022, Neubert et al. 2022, Dahms 2017; Abb. 2.7). Ein steigendes Interesse an Rohrkolben als Rohstoff für stoffliche Verwertungen und die abzusehende Zunahme von Rohrkolben-Anbauflächen machen jedoch deutlich, dass ein großer Entwicklungsbedarf für die effiziente maschinelle Pflanzung, sowie angepasste Mähköpfe und optimierte Bergungsverfahren des Erntegutes bestehen. Auch Fragen der nachgelagerten Logistik, vor allem der Trocknung, Lagerung und Aufbereitung des Erntegutes sind zu beantworten. U.a. werden diese Fragen in den Forschungs- und Entwicklungsvorhaben Paludi-PRIMA (2019 – 2022)¹², TyphaSubstrat (2021 – 2024)¹³ und Paludi-PROGRESS (2022 – 2025) bearbeitet. Ein wichtiger Aspekt ist die regionale Verfügbarkeit von Spezial-Erntetechnik, um zeitlich flexibel auf Witterungsverhältnisse reagie-

¹² <https://www.moorwissen.de/de/paludikultur/projekte/prima/index.php>

¹³ <https://www.moorwissen.de/typhasubstrat.html>

Tab. 2.6: Schilfernte für die Verwendung als Dachschilf (erweitert nach Wichmann et al. 2016)

Zeitraum	Winter (Januar - März)
Eingesetzte Technik	Radbasierte oder kettenbasierte Spezialtechnik
Mähgerät/-vorgang	Messerbalken, Zuführung der trockenen ganzen und aufrechten Halme per Spindel oder Kette zu einem Binder, Binden von Rohbunden, Transport (ggf. per Förderband) zur Ladefläche, z.T. Annahme und Stapeln der Bunde per Hand
Ernteprodukt	(trockene) Bunde; Mahd, Bindung und Transport in einstufigem Vorgang, ggf. Umladen der Bunde auf Begleitfahrzeug zum Abtransport



Abb. 2.6: Rohrwerbung mit Seiga und Raupentechnik von Hanze Wetlands auf Rügen. Beispiele für einstufige Ernteverfahren. Fotos: T. Dahms

ren zu können, ohne an langfristig festgesetzten Ernteterminen festhalten zu müssen (Neubert et al. 2022, Theuerkorn 2001). Auch eine Ernte von Häckseln, die in einen Bunker gesaugt/geblasen werden, ist machbar (z.B. Wichmann 2022; siehe Kapitel 7.1). Hierbei ist eine Optimierung des Verfahrens notwendig: u.a. die Abstimmung der Maschinenparameter (Leistung, Größe etc.) auf die Biomasse, die technischen Anforderungen an das Mähwerk bei einem hohen (und ggf. feuchten) Biomasseaufkommen und der Bunkerkapazität.

Blätter/Stängel und Kolben können unterschiedlichen Verwertungen zugeführt werden. Daher kann es notwendig sein die unterschiedlichen Teile der Pflanze separat zu ernten oder bei der Ernte zu trennen. Entwicklungsbedarf besteht z.B. bei der Ernte der Blätter in Parallellage und Stängel mit oder ohne Kolben, wie sie etwa für die Verarbeitung zu einigen Baustoffen wünschenswert ist (Theuerkorn 2001). Es gibt erste Erfahrungen in den Niederlanden, dass durch einen frühen ersten Schnitt des Rohrkolbens „kolbenfreie“ reine Blattmasse ohne den markigen Stengel im zweiten Schnitt geerntet werden kann (pers. Mitteilung C. Fritz 2021). Weitere Untersuchungen dazu stehen noch aus. Bisherige Erntetests mit Erntetechnik aus der Rohrmahd (u.a. im Rahmen der Vorhaben Deutscher Moorschutzdialog, 2015 – 2018¹⁴ und Typhasubstrat) waren noch nicht zufriedenstellend. Entwicklungsbedarf besteht bzgl. angepasster Schneidwerke, Zuführung der Biomasse zum Binder und Bindevorrichtungen, Entfernung von Fremdbiomasse (Ausputz) sowie geeigneten Fördereinrichtungen vom Schneidwerk zum Bunker. Die Erntetests haben gezeigt, dass Technik aus der Dachschilfernte sich nur bedingt nutzen lässt, da Rohrkolbenbunde im Vergleich zu parallelen Schilfhalmen eher eine Kegel-, oder Birnenform aufweisen (mit einem wesentlich höheren Volumen in Bodennähe) und die Förder- und Bindeeinrichtungen aus der Dachschilfernte daher häufig verstopfen.

¹⁴ <https://greifswaldmoor.de/das-projekt.html>

2. Flächeneinrichtung und Bewirtschaftung

Eine weitere Herausforderung besteht bei der maschinellen Ernte in der Trennung der Fruchtstände (Kolben) und der Blatt- und Stengelmasse. Ggf. lassen sich Erfahrungen aus der Hanfernte übertragen, wobei gleichzeitig Blätter und Halme geerntet und dabei getrennt werden.¹⁵ Andernfalls muss die Trennung von Blatt- und Stengelmasse und den Fruchtständen nach der Ernte, während der Weiter- bzw. Vorverarbeitung durchgeführt werden. Ein Optimierungsbedarf besteht ebenfalls für die Trocknung des Erntegutes, da auch die im Winter geerntete Rohrkolbenbiomasse in Norddeutschland Wassergehalte von ca. 70 % aufweist (Geurts et al. 2020, Neubert et al. 2022). Für gehäcksel-

tes Erntegut wurden Tests in einer Hackschnitzel-Trocknungsanlage mit Solarthermie-Unterstützung und einer Anhänger-trocknung mit Abwärme einer Biogasanlage getestet (Neubert et al. 2022). Es zeigt sich, dass die Biomasse in jedem Fall regelmäßig umgewälzt werden muss, z.B. mittels eines automatischen Rührwerks. In Bayern war es möglich, Rohrkolben im Winter zu ernten und in Bündeln gestapelt ohne aktive Nach-trocknung überdacht zu lagern (Theuerkorn 2001). Erfahrungen in den Niederlanden bestätigen die Option der passiven Trocknung von kleineren Mengen an der Luft bzw. unter Dach (pers. Mitteilung C. Fritz, 2022), oder unter einem Vlies.

¹⁵ <https://www.agrarheute.com/technik/hanfernte-john-deere-t66oi-559048>

Tab. 2.7: Rohrkolbenernte

Zeitraum	Sommer und Winter (November/Dezember)
Eingesetzte Technik	kettenbasierte Spezialtechnik
Mähgerät/-vorgang	Messerbalken-Mähwerk (mit angepasster Messergeschwindigkeit), evtl. Maisgebiss, Zuführung zum Binder, Binden oder anderweitig möglichst in Parallellage laden und transportieren. (Es besteht weiterer Entwicklungsbedarf!) Schlegelmulcher und Feldhäcksler im Frontanbau, Wurfrohr Zuführung in einen aufgesattelten Bunker. Transport durch Erntefahrzeug aus der Fläche bis zum Überladeplatz. Abkippen wenn möglich direkt auf einen Hänger zum Abtransport, alternativ Aufladen des abgekippten Erntegutes mittels Kran
Ernteprodukt	Bunde bzw. lose Häcksel (einstufiges Verfahren)



Abb. 2.7: Ernteversuch eines Rohrkolbenbestandes bei Anklam. 2018 erfolgreiche Ernte mit einer Seiga aus der Rohrmahd. Foto: T. Dahms.

Nasswiesen (Seggen, Rohrglanzgras, und andere Nasswiesengräser)

Die Anhebung der Wasserstände und Überführung entwässerter Moore in Nasswiesen ist im Vergleich zu Anbaukulturen weniger kompliziert und besitzt ein enormes Flächenpotential. Bei der Weiterentwicklung der Erntetechnik für Nasswiesen sollte der Fokus auf einem geringen Kontaktflächendruck, einer hohen Flächenleistung und einer Optimierung der Logistikkette liegen. Für die Beerntung von Nasswiesen liegen Erfahrungen aus der Landschaftspflege vor, die jedoch nur auf die Pflege kleiner Flächen ausgelegt ist. Entwicklungsbedarf besteht darin, die Logistikketten der Wiesennutzung an die veränderten Standortbedingungen anzupassen. Die Trennung von Ernte- und Transportfahrzeugen ist notwendig, um die erforderliche Schlagkraft zu erreichen. Ballonreifen haben sich in der Schilfernte bewährt und haben insbesondere für den Biomassetransport ein hohes Potential. Da jedoch bislang kein Hersteller am Markt verfügbar ist, wurde alternativ auf Pistenraupen zurückgegriffen, deren Umbau mittlerweile etabliert ist. Für den Transport der Biomasse sind umgebaute Pistenraupen jedoch übermoto-

risiert und aufgrund ihres Eigengewichtes weniger geeignet. Kettenbasierte Technik-Neubauten verschiedener Hersteller sind bereits verfügbar, lösen das Problem des hohen Eigengewichtes jedoch noch nicht (vgl. MLUK in Vorb., Dahms 2017, Wichmann et al. 2016). Die Nutzung von landwirtschaftlichen Standardanbaugeräten ist möglich durch Front- und Heck-Dreipunktaufnahmen und Zapfwellenanschlüssen. Bei mehrstufigen Verfahren (Abb. 2.9) müssen alle eingesetzten Maschinen an die Bodenverhältnisse angepasst sein, z.B. indem leichte Ballenpressen zusätzlich mit Doppelachse und Doppelbereifung ausgestattet sind oder raupenbasierte Gespanne eingesetzt werden (MLUK in Vorb.; Dahms 2017). Es ist zu erwarten, dass zukünftig auch in der Nasswiesenbewirtschaftung weiterentwickelte autonome Geräteträger vielfältig Einsatz finden werden.

Ist eine Feldtrocknung des Erntegutes aufgrund hoher Wasserstände nicht möglich, muss die frische, d.h. schwere Biomasse bodenschonend zum Flächenrand bzw. Überladeplatz transportiert und flächenfern getrocknet bzw. haltbar gemacht werden. Bei einer nachgelagerten Trocknung muss diese mit möglichst effizienten Primärenergieeinsatz erfolgen.

Tab. 2.8: Ernte von Nasswiesen-Biomasse im Sommer, Herbst oder Winter als Häcksel und Ballen

Eingesetzte Technik	Angepasste leichte Landtechnik	kettenbasierte Spezialtechnik
Zeitraum	Sommer	Sommer, Herbst, Winter
Mähgerät/-vorgang	Einstufig: Ernte mit Feldhäcksler und direkte Übergabe an parallel fahrendes Transportgespann	Einstufig: Feldhäcksler und Mulcher oder Mähdrescherschneidwerk und direkte Aufnahme des gehäckselten Mähguts durch Wurfrohr in aufgesattelten oder angehängten Bunker oder Zuführung in aufgesattelte Ballenpresse (Abb. 2.8)
	Zweistufig: (1) Mahd und Schwadablage (Schwadablage ggf. mit extra Fahrzeug direkt nach Schnitt), (2) Aufnahme der Frischmasse mit Feldhäcksler oder Erntewagen und Transport zum Flächenrand (dort Weiterverarbeitung zu Lagerung Wickelballen/Fahrsilo)	
	Dreistufig: (1) Mahd mit Mähbalken oder Rotationsmähwerk, (2) Schwaden, Wenden und Pressen von Heuballen, (3) Abtransport der Heuballen an den Flächenrand (Abb. 2.9 und Abb. 2.10)	
Ernteprodukt	Trocken: Heuballen oder lose Häcksel Frisch: Siloballen oder lose Häcksel (Silo)	

2. Flächeneinrichtung und Bewirtschaftung



Abb. 2.8: Einstufiges Ernteverfahren: Erntetechnik für Häckselgut, Winterernte. Erntetechnik: Softrak 120 (Loglogic) mit ELHO Doppelhäcksler und 11 m³ Bunker. Nur für Spezialkulturen oder in der Landschaftspflege geeignet. Foto: T. Dahms, 2021.



Abb. 2.9: Beispiele für mehrstufige Ernteverfahren. Links: Sommer-Mahd mit Raupentechnik; Mitte und rechts: mit angepasster Grünlandtechnik. Fotos: links: P. Schröder, mitte: T. Dahms; rechts: S. Fischer.



Abb. 2.10: Raupen mit Ballenpresse. Foto: T. Dahms.

2.3.3 Ernte von Torfmoos-Paludikultur

Die weltweit erste maschinelle Ernte einer Torfmoos-Paludikultur erfolgte 2016 mit einem Mähkorb, der von einem Fahrdamm aus von einem Bagger mit einem langen Arm die 10 m breiten Torfmoos-Produktionsflächen aberntete. Die Moose werden vom Bagger in einen traktorgezogenen Ladehänger (Dumper) geladen, der ebenfalls auf dem Fahrdamm bereitsteht und die Biomasse abtransportiert.¹⁶ Die Trocknung des Erntegutes kann auf einer Miete am Feldrand oder auf einem befestigten Untergrund bis auf einen Wassergehalt von 70 – 80 % erfolgen (Wichmann et al. 2020), bevor es weiterverarbeitet wird. Die Fahrdämme werden aus vererdetem Torf geformt und nehmen einen hohen Flächenanteil ein. Sie stellen weiterhin eine erhebliche THG-Quelle dar. Das Verhältnis Fahrdamm und Anbaufläche muss zukünftig optimiert werden. Konzepte, mit denen Torfmoosflächen mit weniger Fahrdämmen bewirtschaftet werden können, sind in Entwicklung.

Im Dezember 2021 fand ein erfolgreicher Ernterversuch mit raupenbasierter Spezialtechnik auf einer Teilfläche der Torfmoos-Paludikulturfläche im Hankhauser Moor/Niedersachsen statt. Die Raupe mit einem Kontaktflächendruck von max. 115 g/cm² fuhr direkt auf dem Torfmoosrasen und erntete in einem Arbeitsgang mit einem Häcksler im Frontanbau die Torfmoose, welche über eine Schnecke nach oben transportiert wurden. Dabei wurde ein Teil des Wassers bereits abgepresst. Die Torfmoose wurden dann durch ein Wurfrohr in einen aufgesattelten Bunker mit einer Ladekapazität von 11 m³ befördert (pers. Mitteilung G. Gaudig, 2022).

Seit Frühjahr 2022 finden auf weiteren Flächen am gleichen Versuchsstandort erste Praxistests mit einem autonom fahrenden, ferngesteuerten Geräteträger statt, der zur Pflegemahd und Ernte

des Torfmoosrasens eingesetzt wird. Bei der Pflege werden die vaskulären Pflanzen gemulcht. Aktuell (Stand Juni 2022) laufen Praxisversuche zur Ernte von Torfmoosen¹⁷.

Tab. 2.9: Ernte von Torfmoosen

Zeitraum	Ganzjährig
Eingesetzte Technik	Bewährt: Bagger auf Fahrdamm und Begleitfahrzeug zum Abtransport Getestet: kettenbasierte Spezialtechnik In Entwicklung: autonome Geräteträger
Mähgerät/-vorgang	Mähkorb, der die oberen 5 – 10 cm des Torfmoosrasens abmährt und dabei aufnimmt bzw. Raupe mit Häcksler im Frontanbau, Zuführung mit Schnecke und Wurfrohr in aufgesattelten Bunker (Abb. 2.11)
Ernteprodukt	Lose Torfmoose (Häcksel oder abgeschnittene ganze Moose)



Abb. 2.11: Ernte von Torfmoos-Biomasse. Oben: Maschinelle Torfmoos-Ernte mit Mähkorb. Unten: Test-Ernte mit kettenbasierter Technik (Loglogic). Weitere Infos siehe Kapitel 7.2. Fotos: oben: P. Schroeder, unten: G. Gaudig.

¹⁷ <https://www.iasp-berlin.de/abstract/kooperationsprojekt-entwicklung-eines-terrestrischen-sphagnum-erntefahrzeugs>, die Entwicklung wird mit Mitteln aus dem Zentralen Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) des BMWK gefördert (siehe Kapitel 6)

¹⁶ https://www.moorwissen.de/doc/paludikultur/imdetail/infotafeln_torfmooskultivierung/Infotafel%20Technik.pdf

2. Flächeneinrichtung und Bewirtschaftung

2.3.4 Ernte der Erle

Die Auswahl eines geeigneten Ernteverfahrens von Erlenwertholz auf nassen Standorten hängt von verschiedenen Standort- und Bestandsparametern ab: u.a. Grundwasserhaushalt, Bestandsgröße und Flächenform, maximale Rückeentfernungen, Gesamthiebmenge, mittlere Stückmasse der geernteten Bäume und der Hiebanfall je Rücketrasse (Röhe & Schröder 2010). Das Seilkranverfahren ist das bodenschonendste Verfahren (Abb. 2.12). Dabei erfolgt ein motormanueller Einschlag der Stämme, die dann mittels eines ferngesteuerten Laufwagens beseilt werden und im Schleifrückeverfahren zur bzw. entlang der Seilkrantrasse gerückt werden (Röhe & Schröder 2010, Sündermann et al. 2013).



Abb. 2.12: Seilkran-Technik zur Bergung der manuell eingeschlagenen Stämme. Foto: P. Röhe.

2.4 Kosten

Eine ausführliche Übersicht der Kosten für Wiedervernässung sowie Flächeneinrichtung und Bewirtschaftung von Paludikultur-Flächen findet sich im Hintergrundpapier „Lösungsansätze zum Erreichen der Klimaschutzziele und Kosten für die Umstellung auf Paludikultur“ von Wichmann et al. (2022a)¹⁸. Im vorliegenden Leitfaden wird eine Zusammenfassung gegeben. Entgegen üblicher Darstellungen werden hier den Kosten keine Erlöse direkt gegenübergestellt, da bisher kaum Daten zu Erlösen vorliegen oder diese aktuell stark abhängig von individuellen Vermarktungsansätzen und nur bedingt übertragbar sind. In Kapitel 3 werden daher für verschiedene Verwertungen Erlöspotentiale angegeben und eingeordnet sowie zukünftige Märkte abgeschätzt.

Für regionale Erfahrungswerte zur Umsetzung von Wiedervernässung von Mooren und den Kosten können ggf. Vorhabenträger sowie Beratungseinrichtungen direkt befragt werden. In Bayern, Niedersachsen und Schleswig-Holstein sind Erfahrungsträger u.a. die Landschaftspflegeverbände bzw. Lokale Aktionen sowie Moorklimawirte. Diese Erfahrungen beruhen jedoch auf der Umsetzung von Naturschutzmaßnahmen. Die Umsetzung von Paludikultur erfolgt bisher vielfach in engem Austausch mit Akteuren aus Forschung und Entwicklung. Der Zuwachs an Wissen vor allem in den moorreichen Bundesländern erfolgt sehr dynamisch. Empfehlungen lassen sich auch aus anderen Handlungsanleitungen bzw. Leitfäden entnehmen (Übersicht siehe Kapitel 2.1), beispielsweise aus dem „Leitfaden zur Renaturierung von Feuchtgebieten in Brandenburg“ (LfU Brandenburg 2004).

¹⁸ https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/projektmechanismen/Hintergrundpapier-loesungsansaeetze-paludikultur.pdf?__blob=publicationFile&v=2

Weitere Informationen

- Wichmann et al. (2022a): Lösungsansätze zum Erreichen der Klimaschutzziele und Kosten für die Umstellung auf Paludikultur. (Hintergrundpapier zur Studie „Anreize für Paludikultur zur Umsetzung der Klimaschutzziele 2030 und 2050“)
- Birr et al. (2021): Zukunftsfähige Land- und Forstwirtschaft auf Niedermooren – Steckbriefe für klimaschonende, biodiversitätsfördernde Bewirtschaftungsverfahren.
- Pfister & Oppermann (2021): „Ökonomie“. In: Närmann et al. (Hrsg., 2021): Klimaschonende, biodiversitätsfördernde Bewirtschaftung von Niedermoorböden. BfN-Skript 616.
- LM M-V (2017): Umsetzung von Paludikultur auf landwirtschaftlich genutzten Flächen in Mecklenburg-Vorpommern. Fachstrategie zur Umsetzung der nutzungsbezogenen Vorschläge des Moorschutzkonzeptes.
- Kapitel 6 „Ökonomische Aspekte von Paludikultur“ in Wichmann et al. (Hrsg.) (2016): Paludikultur - Bewirtschaftung nasser Moore. S. 109 – 142
- Wichmann et al. (2022): Herleitung von Förderpauschalen zur Umsetzung von Moorklimaschutzprojekten.

2.4.1 Flächeneinrichtung und Bestandsetablierung

Die Kosten für die Einrichtung einer Anbaufläche sowie die Etablierung eines Bestandes hängt von den örtlichen Gegebenheiten und den Bedürfnissen der jeweiligen Kultur sowie von der Größe der Fläche ab. Wenn beispielsweise die Fläche über eine freie Vorflut verfügt und es keiner Abgrenzung durch Verwallungen bedarf, fallen die Einrichtungs- und Investitionskosten erheblich geringer aus als in einem Fall, bei dem die gesamte Fläche für einen erhöhten Wasserstand als Insel in einer entwässerten Umgebung konzipiert werden muss (siehe Beispiel in Kapitel 7.1). Daher sind die unten folgenden Kosten mit größeren Spannen versehen, um die spezifischen Bedingungen des jeweiligen Falls miteinzubeziehen.

Grundsätzlich ist zu klären, welche Kosten nur einer Wiedervernässung und welche dem Produktionsverfahren zugeordnet werden und damit verbunden die Frage, welche Kosten dem Klimaschutz und welche der Aufrechterhaltung der Bewirtschaftung zugeordnet werden müssen (siehe Kapitel 6.1). Gleiches gilt für laufende Kosten, die ggf. in eine betriebliche Kalkulation aufgenommen werden müssen. Ein Hauptargument für die Umsetzung von Paludikultur ist, die für eine Maximierung der Klimaschutzleistung einer Fläche erforderlichen laufenden Kosten durch ein Bewirtschaftungskonzept abzufangen. Auf Flächen ohne Ernte und anschließende Verwertung der Biomasse (Klimaschutzfläche) ist dies aber ebenfalls möglich, z.B. durch eine kontinuierliche Klimarente. Unabhängig davon, von wem die Kosten getragen werden, sind sie im Folgenden für alle Phasen aufgeschlüsselt. Im Einzelfall, vor allem wenn die Kosten über verschiedene Förderinstrumente finanziert werden, sind beihilferechtliche Regelungen und

2. Flächeneinrichtung und Bewirtschaftung

Förderbedingungen zu prüfen, um ggf. den Sachverhalt der Doppelförderung bei zukünftiger Beantragung von z.B. AUKM zu vermeiden. Eine Auftrennung der Kosten ist aber zukünftig auch bei einer Vermarktung der erbrachten ökologischen Leistungen anzustreben.

Infrastruktur für die Einrichtung von Paludikultur (Flächeneinrichtung)

Im Gegensatz zu bisherigen Wiedervernässungsmaßnahmen müssen in größerem Umfang Maßnahmen zur Realisierung eines differenzierten Wassermanagements durchgeführt werden, welche ggf. auch eine hydrologische Unterteilung und eine aktive Wasserzufuhr vorsehen. Hinzu kommen erforderliche Maßnahmen, die der Erreichbarkeit und dem Abtransport der Aufwüchse dienen. Hierfür ist in erheblichem Umfang der Bau von Fahrdämmen erforderlich, die jedoch auch zur hydrologischen Unterteilung genutzt werden können.

Bestandsetablierung bei den Anbau-Paludikulturen Schilf und Rohrkolben

Für eine zuverlässige Ernte von spezifischen Arten bzw. angestrebten Biomassequalitäten auf zu vernässenden Moorstandorten ist eine gezielte Etablierung zu empfehlen. Im Gegensatz zu Sukzession ist der Aufbau eines erntbaren Pflanzenbestandes schneller, resultiert in dichteren und homogeneren Beständen. Durch Verwendung von Saatgut aus ausgesuchten Beständen mit erwünschten Eigenschaften und durch Züchtung neuer Sorten ist eine Auswahl hinsichtlich gewünschter Qualitäten möglich. Zudem sind die spezifischen Standorteigenschaften bei der Wahl von Saatgut und Sorten zu berücksichtigen. Durch Pilotprojekte bestehen Erfahrungen mit der Etablierung von Schilf und Rohrkolben: „Schilfprojekt“ in Biesenbrow (Brandenburg, Wichtmann 1999), „Rohrkolbenanbau in Niedermooren“ (Bayern, Pfadenhauer & Wild 2001). Aktuelle Vorhaben laufen u.a. in Bayern (Projekt

MoorUse¹⁹), Mecklenburg-Vorpommern (Paludi-PRIMA²⁰) und Niedersachsen (Produktketten aus Niedermoorbiomasse²¹). Bisherige Pilotflächen für Anbau-Paludikulturen sind jedoch maximal 10 ha groß und als „nasse Inseln“ in einer entwässerten Umgebung angelegt (Neubert et al. 2022).

Die Kultivierung von Schilf und Rohrkolben erfordert dauerhaft hohe Wasserstände. Hierfür sind i.d.R. aufwendigere Baumaßnahmen erforderlich als für eine herkömmliche Wiedervernässung. Sie hängen stark von den Ausgangsbedingungen ab (Relief, Zustand der Grasnarbe, Konkurrenzstärke der Ausgangsvegetation etc.). Dies gilt ebenfalls für eine mögliche Flächenvorbereitung (Tab. 2.10). Je nach Ausgangslage sind unterschiedliche Maßnahmen zur Vorbereitung des Saatbetts bzw. der Pflanzung erforderlich. Die Konkurrenzverhältnisse müssen zugunsten der anzubauenden Kultur verschoben werden. Bei Aussaat kann es erforderlich sein die vorhandene Grasnarbe zumindest teilweise zu öffnen (Schlitzsaat) oder durch gezielten Überstau zum Ausfaulen zu bringen. Eine Aussaat in die bestehende Grasnarbe wurde bereits erfolgreich getestet (für Rohrkolben). Die Etablierung durch Pflanzung vorgezogener Setzlinge ist hinsichtlich der Flächenvorbereitung günstiger und im Blick auf eine erfolgreiche Etablierung risikoärmer, jedoch aufgrund des erforderlichen Materials an Jungpflanzen und deren Ausbringung kostenintensiver als die Etablierung per Saat.

Der untere Wert der in der Tabelle 2.11 aufgeführten Gesamtkosten berücksichtigt günstige Ausgangsbedingungen mit einfachem Wassermanagement und Etablierung durch Saat, der obere Wert beinhaltet hohe Investitionskosten für Infrastruktur und Wassermanagement sowie die Etablierung durch Pflanzung (Erläuterung und Quellen siehe Wichmann et al. 2022a).

¹⁹ <https://forschung.hswt.de/forschungsprojekt/958-mooruse>

²⁰ <https://www.moorwissen.de/prima.html>

²¹ <https://www.3-n.info/projekte/laufende-projekte/produktketten-aus-niedermoorbiomasse/>

Tab. 2.10: Übersicht möglicher Kostenfaktoren für die Etablierung von Anbau-Paludikulturen mit Schilf und Rohrkolben.

Phase	Mögliche Kostenfaktoren (abhängig von Ausgangslage)
<i>Flächeneinrichtung</i>	
Flächenvorbereitung	Einebnung/Abschub, Terrassierung (je nach Relief und Neigung) Abtragen Grasnarbe Aufschütten von Dämmen/Verwallungen Aushub Außengräben für Drängewässer (bei „Insellösungen“) Verfüllung von Gräben Suchschachtung und Kappung von alten Dränrohren
Wassermanagement	Wasserbauliche Baumaßnahmen (z.B. Wasserentnahme, Bewässerung, regulierbare Überläufe, Anlegen von Wasserspeicherbecken) Infrastruktur für freien Zulauf Anschaffung und Betrieb von festen/mobilen Pumpen
<i>Bestandsetablierung</i>	
Saat	Vorbereitung von Saatgut (z.B. Pillierung) Vorbereitung des Saatbetts (Mahd und Beräumung, Schaffung von Offenboden durch Überstau und Ausfaulen der Grasnarbe, partielles Abplaggen, Aufschlitzen im Zuge der Saatgutsausbringung) Ausbringen (Saat per Drohne, per Wasserdrift, Drillen) Ggf. Walzen
Pflanzung	Anzucht/Einkauf Pflanzen (Menge abhängig von der Pflanzdichte) Vorbereitung des Pflanzbetts (Mahd ggf. mit Beräumung, Mulchen der Grasnarbe) Pflanzung (Reihenabstand, Pflanzabstände in den Reihen) Vergrämung zum Schutz der Jungpflanzen

Tab.2.11: Kosten für die Etablierung von Anbau-Paludikulturen mit Schilf oder Rohrkolben (Wichmann et al. 2022a)

Kostenart	Einheit	Kosten in €
Baumaßnahmen & Flächenvorbereitung	EUR je ha	1.500 – 15.000
<i>Bestandsetablierung</i>		
1) Variante Saat		
- Saatgut (Gewinnung, Ankauf)		Keine Daten
- Aussaat	EUR je ha	0 – 200
2) Pflanzung		
- Pflanzgut (5.000 – 10.000 Pflanzen je ha)	EUR je Pflanze	0,30 – 0,85
- Pflanzung	EUR je ha	500 – 5.500
Investitionen in Bewässerungstechnik	EUR je ha	0 – 4.000
Gesamt	EUR je ha	2.000 – 30.000

2. Flächeneinrichtung und Bewirtschaftung

Anbau-Paludikultur mit Torfmoos

Bei der Etablierung von Torfmoos-Paludikulturen auf ehemaligem Hochmoorgrünland oder nach Torfabbau sind der Saatgut-Ankauf und die Investitionskosten für das Wassermanagement entscheidende Kostenfaktoren (Wichmann et al. 2017). Die Kostendaten in Tabelle 2.12 stammen von einer Pilotfläche im Hankhauser Moor bei Oldenburg (siehe Kapitel 7.2), wo unter Federführung der Universität Greifswald und in enger Kooperation mit dem Torfwerk Moorkultur Ramsloh und weiteren Partnern seit 2011 Torfmoos-Paludikultur auf mittlerweile 17 ha erprobt wird (Projekte MOOSGRÜN, MOOSWEIT und OptiMOOS). Kostenverursachende Schritte in der Flächeneinrichtung dieser Paludikultur ist die Einrichtung wasserwirtschaftlicher Anlagen für das Wassermanagement und für die Bestandsetablierung die Produktion (bzw. Ankauf) des Torfmoos-Saatgutes.

Nasswiesen und -weiden (Nassgrünland)

Nasswiesen entwickeln sich aus Grünlandbeständen durch spontane Sukzession, für eine gezielte Etablierung entstehen daher weniger Kosten für die Bestandsetablierung. Die Kosten für die Flächeneinrichtung können je nach Standort jedoch ebenso umfangreich wie bei der Anpflanzung von Schilf und Rohrkolben sein. Sofern eine Ansaat bzw. eine Pflanzung, z.B. von Seggen, für einen schnelleren Auf- und Umbau des Pflanzenbestands erfolgen soll, kann sich an den Schätzungen zur Flächenvorbereitung, Saat und Pflanzung von Schilf- und Rohrkolbenröhrichten (siehe oben) orientiert werden. Insbesondere in artenarmen Saatgrasbeständen kann eine Ansaat mit Mahdgrut von Flächen mit der Zielvegetation erforderlich sein. Die Verwendung von Regiosaatgut ist ebenfalls zu prüfen, sofern die Zielarten nicht als Begleitarten in der bestehenden Grasnarbe oder im unmittelbaren Umfeld vorkommen.

Tab. 2.12: Etablierungskosten für eine Pilotfläche mit Torfmooskultivierung-Paludikultur auf ehemaligem Hochmoorgrünland, angegeben als anteilige Kosten pro Netto-Produktionsfläche (EUR je ha) (Wichmann et al. 2022a, nach Wichmann et al. 2020)

Kostenart	Einheit	Szenario A	Szenario B		Ausblick Reduzierte Kosten
		Hohe Kosten	Mittlere Kosten	Vergleich zu	
		2011	2016	2011	Schätzungen
Baumaßnahmen & Flächenvorbereitung	EUR je ha	14.615	36.287	+148%	14.000
Investitionen Wassermanagement	EUR je ha	45.952	22.334	-51%	10.000
Torfmoos-„Saatgut“	EUR je ha	58.467	34.779	-41%	20.000
Bestandsbegründung „Aussa“		8.856	5.046	-43%	5.000
Gesamt	EUR je ha	127.862	98.446	-23%	49.000

Schwarzerle

Wichmann et al. (2022a) stellen die Verfahrenskosten der Erstaufforstung von der Flächenvorbereitung bis zur gesicherten Kultur für eine Produktion von wertvollem Stammholz dar. Neben der Flächenvorbereitung (Bodenbearbeitung) entstehen dabei Kosten durch die Anschaffung der Jungpflanzen und durch die Pflanzung/Kulturbegründung. Die Pflanzensortimente und die Pflanzdichte sind dabei besonders kostenbestimmende Faktoren. Die Bestandsbegründungskosten für eine Schwarzerlenaufforstung sind in Tabelle 2.13 dargestellt. Es sind dabei keine Kosten zur Flächeneinrichtung wie Wasserstandsanhhebung (und -haltung) berücksichtigt. Bei Schwarzerlenbeständen ist in der Regel keine Wasserstandregulierungen erforderlich; vor der Aufforstung mit Schwarzerlen muss vielmehr überprüft sein, dass die Wasserstände dauerhaft stabil sind und längerer Überstau ausgeschlossen werden kann (Wichmann et al. 2022a).

Tab. 2.13: Bestandsbegründungskosten für eine Schwarzerlenaufforstung (Wichmann et al. 2022a)

Kostenart	Einheit	
Planungs- und Baukosten	EUR je ha	0
Pflanzenzahl	Stück je ha	3.000 – 3.500
Stückpreis Pflanze	EUR je Pflanze	0,75 – 1,50
Pflanzung	EUR je Pflanze	0,20 – 0,50
Gesamt	EUR je ha	2.850 – 7.000

2.4.2 Management- und Erntekosten

Rohrkolben und Schilf

Managementkosten entstehen bei Rohrkolben- und Schilf-Kulturen vor allem durch Wassermanagement und Flächenpflege (z. B. Mahd von Verwallungen oder gegebenenfalls selektive Mahd zur

Reduzierung unerwünschter Arten bzw. Schröpfungsschnitte zur Lenkung der Qualität). Für das Flächenmanagement einer Rohrkolbenfläche (Bestandspflege, Kontrollaufwand, Strombedarf für Pumpen und Wartung) kalkulierten Schätzl et al. (2006) Kosten in Höhe von 810 bis 1.040 EUR je ha*a. Wichmann et al. (2022a) vermuten, dass diese Annahmen die realen Kosten deutlich unterschätzen können und betonen, dass konkrete Erfahrungen und Daten erst von laufenden und zukünftigen Pilotprojekten abgeleitet werden können. Schätzl et al. (2006) kalkulierten Erntekosten von 620 EUR (Häckselgut) bis 1.600 EUR (Bunde). Für die Ernte von Schilf mit raupenbasierter Spezialtechnik ermittelte Wichmann (2017) Kosten von ca. 400 EUR beziehungsweise 420 EUR je ha für Häckselgut und Ballen (Bandbreite 115 – 1.100 EUR) und 640 EUR je ha für Dachschilf-Bunde (Bandbreite 320 – 1.500 EUR).

Torfmoos-Paludikultur (aus Wichmann et al. 2022a)

Im Fall der Torfmoos-Paludikultur in Hankhausen/Niedersachsen wurden für das Wassermanagement Kosten von \emptyset 2.700 EUR je ha*a Netto-Produktionsfläche ermittelt (z. B. Kontrollaufwand, Stromkosten). Bei der Bestandspflege entstanden die Kosten zu > 40 % durch die regelmäßige Mahd der Torfmoos-Produktionsflächen zur Unterdrückung von Gefäßpflanzen und der Verhinderung von deren Aussaat. Weitere Arbeiten umfassten die Reinigung der Bewässerungsgräben und das Mulchen der Fahrdämme. Die durchschnittlichen jährlichen Kosten der Bestandspflege betragen in der 1. Rotationsperiode (5 Jahre) \emptyset 7.400 EUR je ha. Die Ernte per Raupenbagger mit Mähkorb vom Fahrdamm aus, inklusive Transport per Schlepper und Dumper zum Feldrand, führte zu Kosten von ~ 12.600 EUR je ha. Hier ist durch die Entwicklung von Erntetechnik, die über die Torfmoosflächen fährt, eine deutliche Kostenreduzierung zu erwarten. Für die Wirtschaftlichkeitskalkulation der Torfmoos-Paludikultur auf ehemaligem Hochmoor-

2. Flächeneinrichtung und Bewirtschaftung

grünland rechnen Wichmann et al. (2020) mit wiederholten Ernten alle 5 Jahre und einer Gesamtkulturdauer von 20 Jahren.

Nasswiesen und Nassweiden (Nassgrünland)

Die Bewirtschaftung von Nasswiesen und Nassweiden ist von folgenden Einflussgrößen abhängig:

- Flächengröße
- Produktivität
- Erreichbarkeit
- Transportdistanzen
- Auslastung der Technik
- Narbenpflege
- Besatzdichte

Die Erntekosten sind abhängig vom Wasserstand zur Erntezeit und entsprechend verwendeter Erntetechnik. Auf Flächen, die im Sommer abtrocknen, ist eine Ernte ggf. mit angepasster konventioneller Grünlandtechnik möglich, wobei hier auf Grund der kurzen Erntefenster eine hohe Schlagkraft erforderlich ist (Bsp. Nasswiesen am Kummerower See bei Neukalen). In feuchten Sommern und bei Nasswiesen mit dauerhaft hohen Wasserständen ist Spezialtechnik notwendig. Je nach Flächengröße bedarf es eigener Technik oder einen Dienstleister. Für Betriebe, welche die Bewirtschaftung ihrer Moorflächen auf Paludikultur umstellen wollen, ist die Anschaffung eigener Erntetechnik eine Herausforderung. Für den Aufbau einer schlagkräftigen Erntekette sind mehrere Fahrzeuge erforderlich. Attraktiver bezüglich der Erntekosten, ist daher eine Kooperation mit anderen Landwirt*innen (z.B. in Maschinenringen) (Wichmann et al. 2022a). Hinsichtlich der Technik-Anschaffung besteht eine große Bandbreite der Kosten. Die Angaben in Wichmann (2017) reichen für raupenbasierte Ernte- und Transporttechnik von ca. 100.000 EUR bis ca. 450.000 EUR. Für Anträge im Rahmen der mit EFRE-Mitteln finanzierten Förderrichtlinie Pro-Moor in Brandenburg wurde eine Tabelle zur Kalkulation der Förderhöhe bereitgestellt, die bei-

spielhafte Investitionskosten für Spezialtechnik, Umrüstung und Technikkomponenten angab²². Wichmann et al. (2022a) gehen in der Summe von einem Finanzierungsbedarf von ca. 400.000 EUR aus, um neben der Biomassemahd auch Biomassebergung und -abtransport mit Spezialtechnik zu realisieren. Zu beachten ist der hohe Verschleiß der eingesetzten Technik (Maschinen und Anbaugeräte). Damit verbunden ist eine verkürzte Lebensdauer, die für nasse Flächen mit ca. 2/3 der normalen Nutzungsdauer angegeben wird, woraus sich höhere anteilige Maschinenkosten ergeben (Wichmann et al. 2022a).

Tab. 2.14: Übersicht über die Bewirtschaftungskosten verschiedener Verfahren für Nassweiden (zusammengefasst aus Pfister & Oppermann 2021).

Bewirtschaftungsverfahren	Kosten je Szenario ungünstig/mittel/günstig [EUR je ha*a]
Nassweide mit Wildgatter ¹	787 / 870 / 771
Nassweide mit Robustrinderrassen ²	502 / 596 / 692
Nassweide mit Wasserbüffel ³	921 / 921 / 921

¹ Die Besatzdichte liegt bei 7,1 / 9,8 / 10,2 Tiere pro ha. Im mittleren Szenario wurden höhere Maschinen- und Gehegekosten angesetzt als im günstigen Szenario, wodurch sich die höchsten Kosten ergeben.

² Die Besatzdichten steigen vom ungünstigen zum günstigen Szenario an, wodurch die Kosten im günstigen Szenario am höchsten sind.

³ Es wurden dieselben Kosten für alle drei Fälle angegeben, weil keine Datengrundlage für verschiedene Kosten vorlag.

Auf der Basis eines Modells zur Berechnung von Arbeitszeiten für die Ernte von Biomasse aus Paludikultur wurden Erntekosten zwischen 52 und 150 € pro t TM ermittelt, abhängig von der eingesetzten Ernte- und Transporttechnik (Wenzel et al. 2022). Die Ernte wird dabei in einzelne Verfahrensschritte aufgeteilt (Abb. 2.13).

²² https://www.ilb.de/media/dokumente/dokumente-fuer-programme/dokumente-mit-programmzuordnung/infrastruktur/o2-zuschuesse/ilb_formular_kalkulation_zu_schuss_w19o222o919.xlsx

2. Flächeneinrichtung und Bewirtschaftung

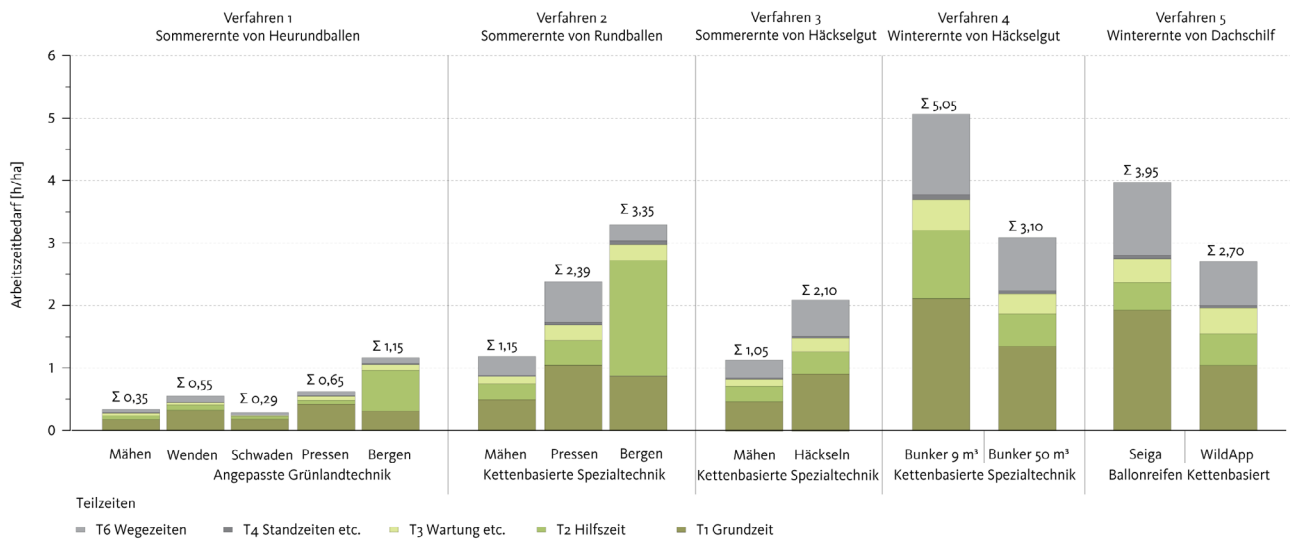


Abb. 2.13: Ergebnisse der Modellrechnung für Arbeitszeitbedarfe bei der Sommer- und Winterernte von 4 ha mit einer Biomasseproduktivität von 4 t TM pro ha. Die Verfahren 1 – 4 stellen verschiedene Erntemethoden dar (aus Wenzel et al. 2022, ergänzt nach Dahms et al. 2017).

Für die Verfahrenskosten der Nassweiden-Bewirtschaftung haben Pfister & Oppermann (2021) verschiedene Szenarien berechnet, die wiederum auf Grundlage der „Faustzahlen der Landwirtschaft“ (KTBL 2018), der KTBL-Datensammlung „Landschaftspflege 2005“ (KTBL 2005) und Kostenabschätzungen für Robust-Rinderrassen (Kaphengst et al. 2005) und für Wasserbüffel (Sweers et al. 2014) beruhen und jeweils für einen ungünstigen, mittleren und günstigen Fall angegeben wurden (Tab. 2.14).

Zu den Kostenfaktoren, die Pfister & Oppermann (2021) berücksichtigt haben und die in den Szenarien (ungünstig – mittel – günstig) jeweils mit unterschiedlichen Kosten bzw. Arbeitskraftstunden je ha angesetzt wurden, zählen: Kosten pro Arbeitskraftstunde, jährliche Zaunkosten, Kosten für Tier-, Trank- und Zaunkontrolle, Wasser- und Zufütterungskosten, Tierarztkosten und Schlachtkosten.

Zusätzlich zu berücksichtigen sind ggf. folgende weitere (nicht abschließende) Kostenfaktoren: Bestandesergänzungskosten, variable Maschinenkosten (z.B. für eine Nachmahd), Kosten für Vermarktung, Zinsansprüche, Beiträge und Versicherungen.

Schwarzerle

Neben den laufenden Verwaltungskosten fallen für die Erlen-Paludikultur zwar keine jährlichen Kosten für Bewirtschaftung und Management der Flächen an, dafür sind regelmäßige Durchforstungen notwendig. Die ersten Kosten fallen für Jungwuchspflege 8 Jahre nach Bestandsbegründung an. Die Kosten für diese Eingriffe geben Wichmann et al. (2022a) mit jeweils etwa 250 – 350 EUR je ha für insgesamt vier Pflegemaßnahmen an. Sie sind in einigen Bundesländern zum Teil förderfähig. Spätere Durchforstungen liefern bereits verwertbare Holzsortimente, mit denen die Kosten gedeckt werden können (Schäfer & Joosten 2005).

Weitere Kosten für die Erlenwertholzproduktion entstehen ebenso wie die Erlöse erst in der Zukunft, nach 50 – 60 Jahren am Ende der Umtriebszeit. Die Erntekosten fallen im Vergleich zu anderen forstwirtschaftlichen Produktionsverfahren eher hoch aus, da die nassen Standorte nur eingeschränkt befahrbar sind und spezielle bodenschonende Erntetechnik, wie z.B. Seilkrantechnologie oder Raupentechnologie, eingesetzt werden muss (Sündermann et al. 2013).

3. Verwertung von Paludikultur-Biomasse

Paludikultur-Pflanzen haben spezifische Eigenschaften entwickelt, um sich an die feuchten und nassen Bedingungen im Moor anzupassen. Dazu zählt z.B. das Durchlüftungsgewebe (Aerenchym) in den Blättern und im Stängel des Rohrkolbens, womit die Pflanze Luft in die Pflanzenteile unter Wasser transportieren kann, oder die Einlagerung von Silikaten in verschiedenen Paludikultur-Pflanzen, die pilz- und brandhemmend wirken. Torfmoos wirkt wie ein Schwamm und kann Wasser um ein Vielfaches des Eigengewichts speichern. Diese speziellen Eigenschaften von Feuchtgebietspflanzen können in Produkten aus Paludikulturen nutzbar gemacht werden und Vorteile gegenüber herkömmlichen Produkten darstellen. Zudem gelten Feuchtgebiete als die produktivsten Ökosysteme der Erde. Bei ausreichender Nährstoff- und Wasserversorgung können bis zu 20 t TM je ha*a Biomasse geerntet werden. Die Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen aus Paludikultur können zudem eine zwei- bis dreifache Klimaschutzwirkung erzielen (z.B. Tanneberger et al. 2020, Nordt & Dahms 2021, Lahtinen et al. 2022), und zwar durch:

1. die Emissionsreduktion aufgrund der Wasserstandsanhhebung auf der Produktionsfläche,
2. die Festlegung von Kohlenstoff im (langlebigen) Produkt, sowie
3. den Ersatz fossiler Rohstoffe.

Die Aufwüchse aus Paludikultur ersetzen in der Regel bestehende Rohstoffe, deren Substitution zu verfolgen ist, wenn eine bessere Kohlenstoffbilanz erzielt werden kann.

Der geringe carbon footprint könnte, dem Produkt angerechnet, zu einem Marktvorteil führen und somit die Nachfrage nach Paludikultur-Rohstoffen erhöhen (Doderer et al. 2016, Nordt & Doderer 2017).

Das Kapitel 3 gibt einen Überblick über die möglichen Nutzungspfade für Rohstoffe und Erzeugnisse aus der Bewirtschaftung nasser und vernässter Moore. Für die großflächige Etablierung von Paludikultur ist es zentral, dass mittelfristig funktionierende, wirtschaftlich tragfähige Produktionslinien entwickelt werden. Aktuell gibt es eine Vielzahl von aussichtsreichen Produkt-Prototypen, jedoch bisher wenige am Markt etablierte Produkte aus Paludikultur-Rohstoffen. Einen Überblick über die Eignung und Praxisreife von verschiedenen Produktionslinien gibt Tabelle 3.1.

3. Verwertung von Paludikultur-Biomasse

Tab. 3.1 Praxisreife (+ oder ++) und Eignung (farblich markiert) von Anbau- und Nasswiesen-Paludikulturen für verschiedene Verwertungen. Praxisreife: + = Prototypen oder Versuchsanlagen bzw. -flächen vorhanden, ++ = bereits in größerem Maßstab umgesetzt; Eignung: grün = hohes Potential, ocker = eingeschränktes Potential: technische Anpassung/Entwicklung notwendig oder Eignung nur für Nischennutzung, keine Farbe = ungeeignet oder unbekanntes Potential. Diese Übersicht beruht auf einer Expert*innen-Einschätzung und bildet den aktuellen Stand ab.

Kultur/Biomasse	Torfmoos	Sonnen- tau	Schilf	Rohrkol- ben	Rohr- glanzgras	Erle	Nasswie- sen
Tiergebundene Nutzungen			+	+	++		++
Biogas Nassfermentation			+	+	+		++
Biogas Trockenfermentation					+		++
Verbrennung			+		++	+	++
Bau- und Dämmstoffe			++	+	+	+	+
Plattenwerkstoff (Möbel)			+	+	+	++	+
Papier, Formteile			+	+	+		+
Plattformchemikalien			+	+	+		+
Bio- und Aktivkohle			+		+		+
Substrate und Erden	++		+	+			+
Medizinale Anwendungen		+					
Phytomining					+		+

3. Verwertung von Paludikultur-Biomasse

3.1 Verwertungsmöglichkeiten

3.1.1 Tiergebundene Nutzungen

Eine Verwertung von Aufwüchsen „über den Tiermagen“ ist bestehende landwirtschaftliche Praxis. Wiedervernässte Moorstandorte eignen sich weitestgehend nicht mehr für die Erzeugung von Futter für die (intensive) Milchviehnutzung, da die Futterwerte der Feuchtgebietspflanzen nicht ausreichend sind. Es gibt allerdings Möglichkeiten zur Beweidung mit angepassten Tieren sowie der Nutzung der Aufwüchse als Raufutter, Einstreu oder Extraktion von Proteinen zur Produktion von Futtermitteln.

Beweidung

Die Beweidung mit Robustrassen und Wasserbüffeln, die an feuchte und nasse Bedingungen und rohfaserreiche Futter angepasst sind, bietet eine Möglichkeit der Weiterführung bzw. Anpassung von vorhandenen Bewirtschaftungsformen. Teilweise können vorhandene Betriebsausstattungen weiter genutzt werden (Ställe etc.).

Eine Beweidung wird häufig mit dem Ziel der Landschaftspflege und Offenhaltung der Landschaft durchgeführt. Dafür gibt es in den Bundesländern diverse Vertragsnaturschutz-Programme und Agrarumwelt- und Klimaprogramme (siehe Kapitel 6), ohne diese ist eine Fleischproduktion auf Moor nicht mit der Mast oder anderen Standorten konkurrenzfähig. Tabelle 3.10 gibt einen Überblick über das Erlöspotential aus der Vermarktung. Neben der Produktion von Fleisch ist eine Milchgewinnung mit **Wasserbüffeln** auf nassen Flächen eher eine Nische, da der damit verbundene Arbeitsaufwand sehr hoch ist. Die Schlachtreife von Wasserbüffeln wird etwa mit 20 – 30 Monaten erreicht, die Schlachtausbeute liegt bei 55 % des Lebendgewichtes. Wasserbüffel haben eine dickere Schädelplatte, für die Schlachtung müssen die Schlachthöfe ent-

sprechend ausgestattet sein (Birr et al. 2021). Der Weideschuss stellt in manchen Bundesländern eine Alternative dar.

In Deutschland wird der Büffelbestand auf 3.000 – 4.000²³ Tiere geschätzt, Tendenz ansteigend. Zum Vergleich: 2021 beträgt der Rinderbestand in Deutschland 11,18 Millionen Rinder, davon ca. 4 Mio. Milchkühe. Pro Jahr werden über 3 Mio. Rinder in Deutschland geschlachtet.²⁴ Die Haltung und Fleischvermarktung von Wasserbüffeln ist aktuell vor allem an die Landschaftspflege geknüpft und eine Nischennutzung, kann aber an Bedeutung gewinnen und eine tiergebundene Übergangslösung der Nutzung von Feucht- und Nasswiesen darstellen. Neben der Vermarktung von Fleisch besteht aktuell auch noch eine Nachfrage nach Zuchttieren für den Herdenaufbau.

Das Fleisch von Wasserbüffeln wird meist direkt vermarktet, wobei der erhöhte Arbeitsaufwand für die Direktvermarktung auch höheren Erlösen gegenübersteht. Der Erlös für das Fleisch liegt etwa in der Größenordnung von ökologisch erzeugtem Rindfleisch. Der Gewinn der Wasserbüffelhaltung



Abb. 3.1: Wasserbüffel im wiedervernässten Küstenüberflutungsmoor „Karrendorfer Wiesen“. Die Landschaftspfleger drängen erfolgreich das Schilf zurück. Foto: S. Abel.

²³ <https://www.golden-buffalo.de/wasserbuumlfel-in-deutschland.html>
²⁴ de.statista.com

Tab. 3.2: Übersicht über tiergebundene Nutzungsmöglichkeiten (Beweidung, Futterproduktion) mit Paludikultur
¹ basierend auf Birr et al. 2021

Tiergebundene Nutzung				
	Paludikultur	Erntezeit/ Nutzungszeitraum	Produkt	Vermarktung
Beweidung mit Wasserbüffeln oder Robustrindern¹	Nasswiese, junges Schilf; Fokus auf Offenhaltung/ Landschaftspflege	Ganzjährig, Besatzdichte 0,8 - 1,5 GVE je ha	Fleisch, Zuchttiere, Landschaftspflege	Vorwiegend Direktvermarktung
Landwirtschaftliche Gatterhaltung (Rotwild, Pferde)¹	Nass- und Feuchtwiese	Ganzjährig, Besatzdichte 0,5 - 1 GVE je ha	Fleisch, Landschaftspflege, therapeutischer Bereich (Pferde)	Vorwiegend Direktvermarktung (Wild)
Weide mit Gänsen, Schafen¹	Feuchtwiese: keine Paludikultur	Umtriebsweide, Besatzdichte 0,8 - 1,5 GVE je ha	Fleisch, Landschaftspflege	
Raufutter für Mutterkühe/ Jungrinder	Heu von Nass- und Feuchtwiese	1. und ggf. 2. Schnitt	Fleisch	Vorhandene/etablierte Stoffströme
Pferdeheu	Heu von Nass- und Feuchtwiesen (u.a. Rohrglanzgras, Seggen)	Zweiter bzw. später Schnitt		Vorhandener Markt
Futter für Milchvieh	(frisch und siliertes) Rohrkolben	Sommerernte	Milch	Reduzierter carbon footprint ²⁵ von Milchproduktion (auf Moor)
Proteinhaltiges Futter f. Schweine und Hühner	Presssaft aus Bioraffinerieprozessen und stofflichen Faser-Verwertungen (z.B. Rohrkolben, Rohrglanzgras)	Sommerernte	Fleisch	Etablierte Vermarktung
Einstreu	Rohrglanzgras, Seggen und weitere Nasswiesengräser	Später Schnitt im Sommer	Optional Weiterverwertung der Einstreu in Biogasanlagen/organ. Dünger	Ersatz von Stroh (-pellets) als Einstreu

²⁵ Der carbon footprint eines Produkts umfasst die THG-Emissionen, die im gesamten Lebensweg eines Produkts (Vorketten, Produktion, Nutzung, Entsorgung, Transport) anfallen. Milch von entwässertem Moor hat einen ca. 5 x so großen carbon footprint wie Milch von mineralischen Böden.

3. Verwertung von Paludikultur-Biomasse

auf nassen Niedermoorstandorten liegt bei -132 bis 838 EUR je ha*a (Birr et al. 2021).

Neben Wasserbüffeln eignen sich **robuste Rinderrassen** mit geringem Gewicht für die Beweidung von feuchtem Grünland für die Fleischerzeugung (Birr et al. 2021). Dazu gehören Aberdeen Angus, Dexter, Fjäll-Rind, Galloway, Heckrind, Schottisches Hochlandrind, Hinterwälder und Murnau-Werdenfelser. Es sollte darauf geachtet werden, dass die nassen Bereiche durch Auszäunung zu Beginn der Vegetationsperiode aufgesucht werden, da der Futterwert im Jahresverlauf schnell abnimmt (Müller & Sweers 2016).

Es gibt in Deutschland Betriebe, die bereits Erfahrungen mit der Beweidung nasser Standorte haben. Praktische Tipps zum Weidenmanagement können auch Verbände oder Vereine geben:

- Der Verein NaturWeiden Donaumoos setzt sich für eine naturnahe Beweidung im Schwäbischen Donaumoos ein: www.naturweidendonaumoos.de
- Der Wasserbüffelverband „Golden Buffalo“ vernetzt und vermarktet Wasserbüffel www.golden-buffalo.de
- ABU – Arbeitsgemeinschaft Biologischer Umweltschutz im Kreis Soest e.V. hat im Verbund einen Praxisleitfaden für die Ganzjahresbeweidung in Naturschutz und Landschaftsentwicklung „[Wilde Weiden](#)“ erarbeitet.
- Bunzel-Drüke et al. (2019): Naturnahe Beweidung und Natura 2000.
- Der Verein Bunde Wischen bewirtschaftet Flächen der Landesstiftung S-H und hat eine große Expertise zu Weidetieren und Standorten: www.bundewischen.de

Die ganzjährige **landwirtschaftliche Gatterhaltung** von Rotwild oder Pferden (Exmoor- und Island-Pony, Konik) ist auf wiedervernässten Niedermoorflächen möglich, wo es auch trockene/mineralische Bereiche als Rückzugsorte gibt. Die

Mindestflächengröße liegt bei 2 ha (Birr et al. 2021). Auch Schilf, Seggen, überständiges Gras (Pferde) und Gehölze (Rotwild) werden gefressen. Im Winter ist eine Zufütterung mit Heu nötig.

Die Beweidung mit Gänsen kann zwischen ein- oder zweischürigen Mahdzyklen durchgeführt werden. Die Langmast umfasst 28 – 32 Wochen. Ausgewählte Rassen können Grün- und Faserfutter mit geringem Nährstoffgehalt gut verwerten, benötigen jedoch ausreichend Süßgräser. Im Haupterwerb rentiert sich die Gänsehaltung ab etwa 1.000 Tieren, wofür mindestens 20 ha Fläche benötigt werden (Birr et al. 2021).

Die Beweidung mit robusten Landschaften ist nur in Grenzbereichen zu Paludikultur möglich (Feuchtwiesen). Es sollten regionale Schafrassen genutzt werden, die an die jeweiligen klimatischen Bedingungen angepasst sind, allerdings nur auf feuchten Standorten, d. h. bei Wasserständen im Sommer von durchschnittlich 20 – 45 cm unter Flur (schwach torfzehrend). Die Wirtschaftlichkeit hängt im Wesentlichen von den Erlösen aus der Landschaftspflege ab, sowie von den saisonal schwankenden Lammerlösen (Birr et al. 2021). Aufgrund der selektiven Beweidung ist eine Nachmahd sinnvoll.

Die Beweidung stößt insgesamt bei torferhaltenden Wasserständen schnell an ihre Grenzen. Die Zeiträume für die Beweidung sind kurz und stark von der Witterung abhängig und kann in manchen Jahren komplett ausfallen. Weiterhin besteht eine höhere Gefahr durch Befall mit Parasiten und Klauenkrankheiten. In Anbetracht ungewisser Zukunft der flächengebundenen Tierhaltung auch auf besseren Standorten, stellt die Beweidung in Paludikultur eher eine Nische dar und ist zudem auf die Übergangsbereiche zu trockeneren Böden beschränkt.

Raufutter

Mahdgut von Nasswiesen wird in der Mutterkuhhaltung, Färsenmast sowie als Pferdefutter genutzt. Auch in der Kleintierhaltung ist das strukturreiche Heu beliebt, die Abnahmemengen sind jedoch begrenzt. Die Qualität wird durch die Artenszusammensetzung sowie den Erntezeitpunkt bestimmt und wirkt sich entsprechend auf die Eignung aus. Es wird aktuell auch an neuen Saatgutmischungen mit nässe-toleranten Arten gearbeitet, um die Futterqualität für Mutterkühe zu verbessern.²⁶ Ein (Nischen-)Markt ergibt sich durch „Spezial-Futter“ wie z.B. Pferdeleckerli aus Heu-Pellets, für die mehrere EUR pro kg gezahlt werden, die jedoch einen begrenzten Marktumfang haben. Spät geerntetes Rohrglanzgras-Heu eignet sich gut als Pferdefutter: Es hat einen Fruktangehalt von >5 % und kann in größeren Tagesmengen gefüttert werden, ohne den Tagesbedarf an verdaulichem Eiweiß zu überschreiten (Zielke 2016). Die Vermarktung bzw. der Verkauf von Heu an Pferdehalter erfolgt z.T. bundesweit. Hierbei schwanken die Preise und sind abhängig von der jeweiligen Witterung eines Jahres und der damit verbundenen Knappheit oder guten Verfügbarkeit an Heu. In Tabelle 3.10 ist das Erlöspotential dargestellt. Bei sehr hohen sommerlichen Grundwasserständen auf Nasswiesen ist die Bodentrocknung für die Heugewinnung schwierig.

Rohrkolben als Futter

Silier- und Futtermittelversuche von Rohrkolben mit trockenstehendem Milchvieh waren in den Niederlanden (2017/2018) erfolgreich (Pijlmann et al. 2019). Deutlich wurde in den ersten Versuchen, dass der Futterwert von Rohrkolben geringer ist gegenüber Gras. Grassilage wurde zudem von den Kühen der Rohrkolbensilage vorgezogen und die Silierung von Rohrkolben ist schwieriger als von Gras. Frische junge Rohrkolbenpflanzen wurden von den

Kühen eher aufgenommen als konservierter Rohrkolben. Rohrkolben hat einen hohen Selen-Gehalt, wodurch die zusätzliche Gabe von Selen entfällt bzw. reduziert werden kann. Die Verfütterung von Rohrkolben an Milchvieh ergab eine Reduktion der Milchleistung um 8 – 10 %. Diese kann durch eine erhöhte Kraftfuttermenge ausgeglichen werden (pers. Mitteilung C. Fritz 2021). Für Hochleistungsrinder entfällt somit Rohrkolben als Futter.

Extraktion von Proteinen für die Futtermittelproduktion

Über einen „grünen“ Bioraffinerie-Prozess können Proteine aus „grüner“, im Sommer geernteter Niedermoor-Biomasse extrahiert werden. Der konzentrierte Presssaft kann an Monogastrier, z.B. Hühner und Schweine, verfüttert werden und reduziert damit den Import von Proteinen für die Fleischproduktion. Der Protein-Presssaft ist dabei ein Koppelprodukt bei der Bioraffinerie, daneben können – aus den extrahierten Pflanzenstoffen Lignin, Hemizellulose und Zellulose – Plattformchemikalien, Bioenergie, Proteine für Lebensmittel und Faserprodukte aus den extrahierten Faseranteilen aufbereitet werden (siehe weiter unten). Bei zweischüriger Nutzung von Rohrglanzgras konnten bis zu 2,2 t TM je ha*a Proteinkonzentrat raffiniert werden, mit einem Rohproteingehalt von bis zu 39 % (Nielsen et al. 2021). Allerdings fehlen bisher Informationen zu den Gehalten an Lysin und Methionin als wichtige Aminosäuren für Schweinefutter bei der Bioraffinerie von Paludikultur-Gräsern (pers. Mitteilung C. Nielsen, M. Götz 2021). Erste kommerzielle Produktionsanlagen gibt es in Dänemark (DLG 2020) und Deutschland, jedoch ohne Fokus auf Paludikultur-Biomassen.

Bioraffinerie-Proteine können aktuell bereits eine Alternative für ökologisch wirtschaftende Schweinehalter darstellen. In Deutschland hatte Bio-Schweinefleisch 2019 einen Anteil von ca. 1 % an der Gesamtproduktion von Schweinefleisch

²⁶ <https://www.lfl.bayern.de/iab/kulturlandschaft/262620/index.php>

3. Verwertung von Paludikultur-Biomasse

(ca. 30.900 t), und Bio-Geflügel von ca. 2 % an der gesamten Geflügelfleischproduktion (26.390 t), Tendenz jeweils steigend (BÖLW 2021). 2018/2019 wurden ca. 3,8 Mio. t Soja für Futterzwecke nach Deutschland importiert, davon ca. 65.000 t Bio-Soja (Deutscher Bundestag 2020, Fröschl 2020).

Einstreu

Aufwüchse aus Nasswiesen sind wie andere grasartige Auswüchse saugfähig. Nasswiesen-Heu als Einstreu kann aufgrund der Anfälligkeit gegenüber Verpilzung im Zuge der aufwenigen und oft unsicheren Feldtrocknung nur bedingt in der Haltung von z.B. Rindern, Pferden, Hühnern oder Schweinen verwendet werden. Eine Nachnutzung in einer Biogasanlage oder als organischer Dünger ist möglich. In Schweden werden aktuell Praxisversuche mit brikettiertem und gehäckseltem Heu aus Rohrglanzgras in der Milchvieh- und Pferdehaltung unternommen²⁷. Die Nachnutzung der Einstreu in einer Biogasanlage in dem betrachteten Milchviehbetrieb führte zu gesteigerter Biogasproduktion. In Teilen des Verwertungsverfahrens kam es zu erhöhtem Staubaufkommen, hierfür sind technische Anpassungen notwendig.

Auch das Pelletieren zur Erzeugung von Einstreu ist möglich, erhöht die Transportfähigkeit und Lagerdichte. Pellets sind durch die Erhitzung während der Pelletierung weitgehend keimfrei. Erfahrungen aus der Praxis fehlen bisher. Für vergleichbare Einstreu-Strohpellets, z.B. für die Geflügelhaltung liegt der Endkundenpreis bei ca. 0,3 EUR je kg²⁸. Einstreu-Pellets können ebenfalls in der Biogasanlage in Kaskade weiter genutzt werden. Die Pelletierung von Nasswiesenheu ist möglich, Kosten dafür be-

laufen sich auf ca. 100 – 150 EUR je t (Dahms et al. 2017, pers. Mitteilung F. Havemeyer 2021).

Die Nutzung von Nasswiesen-Heu als Einstreu resultiert derzeit v.a. aus Mangel an Verwertungsalternativen mit höherer Wertschöpfung.

Weitere Informationen

- Birr et al. (2021): Zukunftsfähige Land- und Forstwirtschaft auf Niedermooren – Steckbriefe für klimaschonende, biodiversitätsfördernde Bewirtschaftungsverfahren.
- Närmann et al. (Hrsg., 2021): Klimaschonende, biodiversitätsfördernde Bewirtschaftung von Niedermoorböden. BfN-Skript 616.
- KTBL (2010): Planungsdaten für die Haltung von Wasserbüffeln.
- Dahms et al. (2017): Paludi-Pellets-Broschüre. Halmgutartige Festbrennstoffe aus nassen Mooren.
- Zahn, A. (2014): Beweidung von feuchtem, nährstoffreichem Offenland. – In: Burkart-Aicher, B. et al., Online-Handbuch "Beweidung im Naturschutz", Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL), Laufing; www.anl.bayern.de/fachinformationen/beweidung/handbuchinhalt.htm
- www.hutelandschaft-rodachae.de

²⁷ www.go-grass.eu

²⁸ www.strohpellets.eu/online-shop/

3.1.2 Energetische Verwertung

Das Mähgut von nassen Mooren kann als Rohstoff für die direkte thermische Nutzung zur (Strom- und) Wärmeproduktion verwendet werden. Eine höhere Wertschöpfung kann ggf. durch eine Veredelung der Biomasse zu flüssigen und gasförmigen Biokraft- oder Biotreibstoffen erreicht werden. Eine Übersicht gibt Tabelle 3.3.

Biogas (und potentielle Kaskaden)

Prinzipiell kann Biomasse aus Paludikulturen wie Rohrkolben, Schilf, Rohrglanzgras und Seggen ähnliche Biogaserträge wie Grassilage bei der Nassfer-

mentierung liefern. Zentral hierfür ist ein früher Schnitt (Dragoni et al. 2017, Hartung et al. 2020, Roj-Rojewski et al. 2019). Bisherige Untersuchungen in Batch-Gärtests zeigen Methanausbeuten für Biomassen aus Paludikultur im mittleren Bereich, dabei sind teilweise deutliche Unterschiede zwischen verschiedenen Pflanzenarten zu verzeichnen. Die Methanausbeuten lagen bei $102 - 240 L_N$ je kg_{oTM} bzw. Biogausbeuten zwischen $311 - 581 L_N$ je kg_{oTM} mit mittleren Methangehalten im Biogas von $54 - 60 \%$ (Eller et al. 2020, Roj-Rojewski et al. 2019, Hartung et al. 2020). Mit zunehmendem Pflanzenalter nimmt der Biogasertrag ab, da der schwer bzw. nicht vergärbare Anteil (z.B. Lignin) in der Biomasse zunimmt (Czubaszek et al. 2021).

Tab. 3.3: Übersicht über die energetischen Verwertungsmöglichkeiten für Paludikultur-Biomasse

Energetische Verwertung				
Produkt/ Prozess	Paludikultur	Erntezeit/Nut- zungszeitraum	Produkt	Anwendungspotential
Biogas / Nass- fermentierung	Nasswiesen, Roh- glanzgras, Seggen; Presssaft aus stoff- lichen Verwer- tungsprozessen	Sommer	Strom, Wärme, aufbereitetes Biogas	u.a. abhängig von Rahmen- bedingungen: Post-EEG-An- lagen, CO_2 -Bepreisung v. Brennstoff, Forschung und Entwicklung
Biogas / Trockenfermen- tierung	Nasswiesen	Zweiter bzw. spä- ter Schnitt	Wärme	Kopplung an Wärmesenke notwendig, stoffliche Nach- nutzung des Gärsubstrates möglich (z.B. Substrat)
Brennstoff, direkte Verbrennung	Schilf, Heu von Nasswiesen, Roh- glanzgras, Seggen	Später Schnitt („Heuwetter“-ab- hängig), Winter- ernte (Schilf)	Wärme	Heizwerk; Anbindung an Wärmesenke, -netz notwen- dig
Elektrizität / Photovoltaik	Nasswiese, Nassweide	ganzjährig	Strom	Agri-/Freiflächen-PV
Kohle / Pyrolyse	Nasswiese, Schilf	Sommer, Herbst Winterernte	Wärme, Pflan- zen- und Ak- tivkohle	Bodenverbesserer, Filter, Futterzusatz, Baum-Rigolen, Baustoffe, C-Festlegung

3. Verwertung von Paludikultur-Biomasse

Damit verbunden erhöht sich der Trockensubstanz-Gehalt im Fermenter, was zu einer ansteigenden Beanspruchung der Rührwerke führt – und damit auch zu höheren Stromkosten. In konventionell betriebenen Biogasanlagen (auf Basis von Maissilage) erscheint ein Paludikultur-Biomasseanteil von bis zu 20 % möglich. Ggf. kann die Abbaubarkeit des Materials durch eine vorbereitende Aufbereitung erhöht werden, z.B. mittels Hammermühle (Hartung et al. 2020, Eller et al. 2020). Dabei ist der benötigte Energieinput für die Aufbereitung zu berücksichtigen.

Bestehende Anlagen, die bereits Gras als Substrat nutzen, könnten auf Rohrglanzgras umstellen. Um die Methanausbeute zu verbessern, können Nebenprodukte aus anderen Verfahren, wie etwa Presssaft aus Bioraffinerie-Prozessen eingesetzt werden.

Da frische Biomasse nur während des Erntezeitraumes zur Verfügung steht, ist eine Konservierung der Biomasse notwendig. Die Silierung von Biomasse aus Paludikulturen wurde bisher nur vereinzelt getestet und ergab unterschiedliche Ergebnisse. Die Biomasse muss dafür gut kompaktierbar sein, ggf. wird ein zuckerreicher Silierpartner benötigt (Herrmann et al. 2014). Herausfordernd und aufwendig ist die Bergung des frischen, d.h. schweren Materials von der Fläche bei hohen Wasserständen.

In der Feststofffermentation (Trockenfermentation) kann verholzte halmgutartige Biomasse (Heu und Silage) zur Vergärung genutzt werden. Die Verweilzeit des Gärguts im Fermenter beträgt etwa 3 Wochen. Dabei wird stapelbares Gärgut per Radlader diskontinuierlich eingebracht. Das luftdicht abgeschlossene Substrat wird im Fermenter mit Perkolat beregnet, welches aufgefangen und zur Befeuchtung wieder eingebracht wird. Ein Teil des Gärrestes dient als Starterkultur für neues Gärgut (Carius 2020). Der Gärrest kann als organischer



Abb. 3.2: Heizwerk der Agrotherm GmbH in Malchin, wo Biomasse aus einem wiedervernässten Niedermoor verbrannt wird. Fotos: T. Dahms

Dünger ausgebracht oder in Kaskade für die Weiterverwertung von Fasern genutzt werden, ggf. über Kompaktierung zur Verbrennung, Karbonisierung, als Einstreu oder Zuschlagstoff für Substrate. Hierbei bestehen bisher noch kaum etablierte Verfahren in der Praxis, da die Feststofffermentation wenig verbreitet ist und an logistische Kapazitätsgrenzen stößt. Zudem wird eine angeschlossene Wärmesenke benötigt und es sind regionale Verwertungsstrukturen für den Gärrest erforderlich.

Die Erzeugung von Biogas mit Biomasse aus Paludikultur ist äußerst fraglich. Die Gasausbeute von Heu von entwässerten extensiv genutzten Moorstandorten erreicht in etwa nur die Hälfte von Mais bei doppelten Erntekosten. Da die Ernte von Biomasse in nassem Moor noch kostenintensiver

ist, erscheint eine Biogaserzeugung aus Paludikultur-Biomasse bisher lediglich als Teil einer Kaskadennutzung ökologisch und wirtschaftlich darstellbar. Potentiale könnten sich zukünftig ergeben durch Altanlagen, die aus der EEG-Förderung entlassen werden und von Maissilage auf andere Eingangsstoffe umstellen, sowie durch Nachfrage nach „veganem“ Biogas, welches aufbereitet und in das Gasnetz eingespeist wird. Für erste Anlagen wird die Umstellung auf Feuchtwiesen-Biomasse geprüft (pers. Mitteilung B. Spanjers 2021). Ob dies ökologisch sinnvoll ist, bleibt angesichts der geringen Gasausbeute und hohen Aufwendungen bei der Ernte fraglich. Eine Bilanzierung der Kohlenstoffbilanz liegt bisher noch nicht vor.

Weitere Informationen:

- Stiller & Ohl (2015): Untersuchung zur Feststoffvergärung von Landschaftspflegematerial niedersächsischer Grünlandstandorte.
- Carius et al. (2011): Effizienzsteigerung von Grünlandsubstraten in der Biogasgewinnung unter Berücksichtigung naturschutzfachlicher Belange.
- Scholwin & Siegert (2020). Biogas aus Paludikulturen – Produktionsweg, Hintergründe, Klimaschutzwirkung.
- Nordt et al. (2020): Machbarkeitsstudie Aufwuchsverwertung und Artenvielfalt in der Leader-Region „Kulturlandschaften Osterholz“, S. 112ff.

Verbrennung

Die Erzeugung von Wärme und Warmwasser mittels Verbrennung der (trockenen) Aufwüchse von Nasswiesen ist am Standort Malchin/M-V seit 2014 durch das Unternehmen Agrotherm etabliert (Abb. 3.2). Hier werden etwa 3.500 MWh Wärme pro Jahr erzeugt, der Brennstoff wird auf ca. 300 ha Nasswiesen im Spätsommer in Form von Heuballen geerntet. Die Verbrennungstechnik für Stroh ist etabliert und kann mit einigen technischen Anpassungen für Nasswiesen-Heu genutzt werden (Meier 2014). Mehraufwand entsteht bei Verunreinigungen des Brennstoffes (z.B. durch Treibgut, dass von Überschwemmungen eingebracht wurde) und durch die Gefahr von Verschlackungen im Heizkessel. Das Ascheaufkommen liegt bei unter 10 % des Brennstoffes (Wenzel et al. 2022) und kann ggf. als Dünger weiterverwendet werden oder muss (kostenpflichtig) entsorgt werden (Schröder et al. 2017). Zentral ist das Vorhandensein einer ausreichend großen (möglichst ganzjährigen) Wärmesenke, z.B. bestehende (kommunale) Wärmenetze, Industrie-Anlagen oder die Kombination mit einer Biomasse-Trocknung im Sommer, damit die Auslastung der Anlage möglichst ganzjährig gegeben ist. Eine Herausforderung liegt in der Erzeugung von trockenem, lagerfähigem Brennstoff auf den nassen Moorflächen, vor allem in Jahren mit sehr hohen Sommer-Wasserständen, wenn keine Bodentrocknung möglich ist, bzw. wenn die Zeitfenster für die Heuwerbung zu kurz sind. Alternativ sollte eine zweite Brennstoffquelle und -zuführung zum Heizkessel technisch mit bedacht werden, z.B. schüttfähige Holzhackschnitzel oder Pellets. Die Wärmegestehungskosten setzen sich zu hohen Anteilen aus den Investitions- und Betriebskosten zusammen, bei einer Kompaktierung des Brennstoffes kommen zudem die Kosten der Pelletierung hinzu (Dahms et al. 2017). Die Brennstoffkosten werden im Wesentlichen von den Erntekosten bestimmt.

3. Verwertung von Paludikultur-Biomasse

Wirtschaftlich tragfähig kann die Verbrennung von Nasswiesen-Biomasse unter lokal günstigen Bedingungen sein. Die Wärmebereitstellungskosten liegen zwischen 60 – 75 € pro MWh, wobei die Brennstoffkosten für halmgutartige Biomasse aus nassen Mooren langfristig beständig sind und nicht der Preisvolatilität fossiler Energieträger unterliegen (Wenzel et al. 2022).

Weitere Informationen:

- Dahms et al. (2017): Paludi-Pellets-Broschüre. Halmgutartige Festbrennstoffe aus nassen Mooren
- Wenzel et al. (2022): Bioenergie aus nassen Mooren -Thermische Verwertung von halmgutartiger Biomasse aus Paludikultur.
- Heizwerk Malchin – Agrotherm GmbH: www.niedermoor-nutzen.de

- Nordt et al. (2020): Machbarkeitsstudie Aufwuchsverwertung und Artenvielfalt in der Leader-Region „Kulturlandschaften Osterholz“, S. 106ff
- Schröder et al. (2017): Entwicklung einer klimagerechten regionalen Energieversorgung durch Paludikultur am Beispiel des Landkreises Vorpommern-Rügen.

Photovoltaik auf wiedervernässten Mooren

Der notwendige Ausbau erneuerbarer Energie lenkt den Blick auch auf die Erzeugung erneuerbaren Stroms mit Photovoltaik(PV)-Freiflächen und Agri-PV-Anlagen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen. Auf Moorstandorten ist dies oftmals mit der Erwartung verbunden, dass mit einer PV-Anlage die Erträge pro Hektar gesteigert werden können. Hierbei sollten vorrangig stark degradierte Moorböden geprüft/genutzt werden.



Abb. 3.3: PV-Freiflächenanlage „Solarpark Lottorf“ der Wattmanufactur im teilweise wiedervernässten Niedermoor in Schleswig Holstein. Foto: B. Spanjers.

Zudem ist es zentral, dass die Aufstellung einer Anlage eine Wiedervernässung nicht verhindern oder beeinträchtigen darf, bzw. direkt in Verbindung mit der Anlagenerrichtung erfolgt (Abb. 3.3). Andernfalls werden hohe Flächen-THG-Emissionen aus der Moorentwässerung ggf. langfristig festgeschrieben, während die Errichtung einer PV-Anlage dazu dient, Emissionen (im Energiesektor) zu reduzieren. Herausfordernd ist bei der Errichtung von Anlagen die Gründung bzw. Verankerung des Ständerwerkes im Boden, da dies entweder im mineralischen Untergrund erfolgen muss – aufwendig bei Torfmächtigkeiten von bis zu mehreren Metern – oder über ausreichend stabile Fundamente, die in den Torfkörper eingebracht werden müssen. Die Nutzung schwerer Technik führt dabei zu (weiterer) Bodenverdichtung und ggf. zu irreversiblen Schäden am Torfkörper, hierfür sind daher neue Lösungsansätze zu entwickeln. Die Ausrichtung und Abstände der Module sind so zu gestalten, dass am Boden ausreichend Licht zum Wachstum der Pflanzen ankommt, da eine pflanzliche Bodendeckung für den Schutz des Torfkörpers notwendig ist. Weitere Erkenntnisse zu den Auswirkungen von PV-Anlagen auf die moortypische Biodiversität, Torferhalt und den langfristigen technischen Anforderungen an die PV-Anlage sowie zu Rückbaufragen fehlen aktuell und werden dringend benötigt, um Empfehlungen bzw. Vorschriften beim Bau neuer Anlagen auf Moorstandorten geben zu können.

Agri-PV-Anlagen bieten bisher keine Möglichkeit, die pflanzlichen Aufwüchse auf der Fläche zu ernten und weiter zu verwerten. Da Paludikultur eine land- oder forstwirtschaftliche Nutzung bedingt, können PV Anlagen nicht als Paludikultur bezeichnet werden.

Weitere Informationen PV:

- GMC (2022): [Informationspapier des Greifswald Moor Centrum zu Photovoltaik-Anlagen auf Moorböden](#)
- Fraunhofer-Institut für Solare Energiesystem (2022): [Agri-Photovoltaik: Chance für Landwirtschaft und Energiewende. Ein Leitfaden für Deutschland.](#)
- BMWK, BMUW & BMEL (2022): [Ausbau der Photovoltaik auf Freiflächen im Einklang mit landwirtschaftlicher Nutzung und Naturschutz. Eckpunktepapier.](#)

3. Verwertung von Paludikultur-Biomasse

Verkohlung (Pyrolyse oder Hydrothermale Karbonisierung)

Durch Verkohlung von Biomasse können Kohlenstoffe erzeugt werden, die mittelfristig vielseitig angewendet werden können. Bei der Pyrolyse wird trockene Biomasse (mind. 65 % Trockensubstanz) – z.B. Heu oder Holz – unter Sauerstoffabschluss und mit sehr hohen Temperaturen verkohlt. Bei der hydrothermalen Karbonisierung (HTC) werden feuchte Biomassen (z.B. Gärreste aus der Biogasanlage) mit Hitze und Druck in einen kohlenstoffhaltigen Feststoff umgewandelt. Je nach Prozesssteuerung kann Kohle mit verschiedenen Eigenschaften erzeugt werden, z.B. als Bodenverbesserer, als Futtermittelzusatz zur Verbesserung der Tiergesundheit und zur Geruchsminderung in Ställen, in Form von Aktivkohle als Filter für kommunale Abwässer, als Baustoff-Zusatz (z.B. in Beton) oder auch als Elektrodenmaterial in Energiespeichern. Je nach Anwendung der Kohle kann der Kohlenstoff auch langfristig gebunden werden. Neben der Verwendung des erzeugten Kohlenstoffes kann bei der Pyrolyse die Prozesswärme einer Wärmesenke zugeführt oder über ein Blockheizkraftwerk zur Stromerzeugung genutzt werden. Verkohlungs-Anlagen sind bereits in verschiedenen Anlagengrößen am Markt verfügbar.

Pflanzen- und Aktivkohlen, die aus grasartigen Ausgangsmaterialien durch thermische Umwandlung gewonnen werden, könnten perspektivisch eine Alternative für konventionell hergestellte Aktivkohlen darstellen (da Silva Veiga et al. 2020, Awasthi et al. 2019). Diese werden derzeit hauptsächlich in Asien mit negativen Umweltauswirkungen aus Stein- und Braunkohle sowie aus Kokosnussschalen hergestellt und über weite Entfernungen transportiert (Joseph et al. 2020). Bei einem weiteren Ausbau von Kläranlagen zur Spurenstoffentfernung kann der jährliche Bedarf für Deutschland, Österreich und die Schweiz mit 41.000 t Aktivkohle abgeschätzt werden. Die Kosten pro Tonne liegen bei

etwa 1.300 – 1.500 EUR je t. Hier ist jedoch mit steigenden Kosten aufgrund von Nachfragesteigerungen und CO₂-Steuer zu rechnen.

Die Eignung von Paludikultur-Biomasse für die Verkohlung ist bisher noch nicht speziell untersucht. Die geringe Schüttgutdichte stößt jedoch an logistische Grenzen bei der Verkohlung und beschränkt eine großmaßstäbige Verwertung. Zudem versprechen andere Substitute mehr Erfolg. Aktuell fokussiert die Anwendung beider Verfahren in Deutschland auf Reststoffe („Abfälle“) als Ausgangsmaterial, etwa agrarische Reststoffe, Gärreste, Klärschlamm, Lebensmittelreste etc. Die erzielbaren Erlöse für Aufwüchse von wiedervernässten Mooren als Ausgangsstoff für die Verkohlung werden daher – zumindest aktuell – als gering eingeschätzt.

Durch die Möglichkeit einer langfristigen und stabilen Festlegung von Kohlenstoff kann die Herstellung und Anwendung von Pflanzenkohle als Negativ-Emissions-Technologie an Bedeutung gewinnen (PyCCS = pyrogene Kohlenstoffabscheidung und -speicherung).

Weitere Informationen:

- Go Grass Projekt: <https://www.go-grass.eu/germany/>
- Fachverband Pflanzenkohle: <https://fachverbandpflanzenkohle.org/>
- Europäisches Pflanzenkohle Industrie Konsortium: <https://www.biochar-industry.com/>

3.1.3 Bau-, Dämm- und Werkstoffe

Die stoffliche Verwertung von Paludikultur-Rohstoffen in Form von Bau-, Dämm- und Werkstoffen stellt kurz- bis mittelfristig ein hohes Anwendungs-

potential mit mittleren bis hohen Erlösoptionen dar. Tab. 3.4 gibt einen Überblick über bestehende Anwendungen.

Tab. 3.4: Übersicht über Bau- und Dämmstoffe aus Paludikultur-Biomasse (Abb. 3.3 – 3.12).
¹ Birr et al. 2021

Stoffliche Verwertung: Bau- und Dämmstoffe				
Produkt	Paludikultur	Erntezeit/Nutzungszeitraum	Anwendung	Anwendungsreife
Schilfbunde/Dachreer	Schilf	Winter	Dachdeckung	Am Markt etabliert
Verschiedene Schilfplatten aus Schilfhalmen	Schilf	Winter	Dämmstoff, Putzträger, Akustik-elemente	Am Markt etabliert
Rohrkolben-Plattenwerkstoff	Rohrkolben (Blätter, Stängel)	Herbst/Winterernte	Bau- und Dämmplatte	Anwendung erprobt, Rohstoff fehlt
Einblasdämmung	Rohrkolben (ganze Pflanze), Nasswiesenbiomasse	Herbst/Winterernte	Dämmstoff	Anwendung mit Prototypen erprobt, Rohstoff fehlt (Rohrkolben)
Grasfasermatten	Nasswiesenbiomasse	Sommer, späte Schnittzeitpunkte	Dämmstoff	Produkt verfügbar, bisher nur anteilige Verwendung von Paludikultur-Rohstoffen
Zellulose-Schaumplatten	Seggen, Rohrglanzgras, Schilf, Rohrkolben	Spätsommer/Herbst	Dämmstoff	Prototypen unter Laborbedingungen hergestellt, bisher noch kein Produkt
Faser-Werkstoffplatten	Nasswiesen-Biomasse, Schilf, Rohrkolben	Sommer–Winter	Möbelbau, diverse Plattenwerkstoffe	Prototypen hergestellt
Sperrholz, Vollholz ¹	Erle	Durchforstung für Sperrholz, Vollholz nach 60-80 Jahren, im Herbst/Winter	Arbeitsplatten, Möbel	Am Markt verfügbar

3. Verwertung von Paludikultur-Biomasse

Grasartige Paludikultur-Pflanzen haben spezifische Eigenschaften, die sie für den Bau-, Dämm- und Werkstoffbereich interessant machen: einige Paludikultur-Pflanzen produzieren pflanzeneigene Pilzhemmer, haben stabile starke Strukturen entwickelt, um teils mehrere Meter hoch aufzuragen und dem Wellenschlag an Gewässern standzuhalten, sowie eine luftige Gewebestruktur in Blättern und Stängeln, um Luft in die Wurzeln zu leiten (Aerenchym).

Bei Bau- und Dämmstoffprodukten aus **Anbau-Paludikulturen wie Schilf und Rohrkolben** werden die strukturellen Pflanzeigenschaften gezielt genutzt. Über die Etablierung, Bestandsmanagement beim Anbau sowie geeignete Erntezeitpunkte wird die notwendige Rohstoffqualität an die jeweiligen Produkthanforderungen angepasst. Zu den bekanntesten Produkten gehören Schilfdächer und -dämmplatten, Rohrkolben-Dämmplatten und -Einblasdämmung. Dabei werden die Pflanzenbestandteile als Ganzes verwendet, z.B. die ganzen Halme bei Schilfbunden für die Dachdeckung. Oder sie werden zerkleinert, z.B. Typhaboard mit geschnittenen und miteinander verklebten Rohrkolbenblättern oder der Einblasdämmung aus zerkleinerten Rohrkolben-Ganzpflanzen.

Bau- und Dämmstoffe aus Schilf werden seit Jahrtausenden traditionell verwendet. Am verbreitetsten ist die Dachschilf-Nutzung (Reet). Aus den Schilf-Halmen werden weiterhin Dämmplatten hergestellt, die mit Draht gebunden werden. Sie sind in verschiedenen Stärken erhältlich. Außerdem werden die Halme zu Sichtschutz-Matten und Zäunen gebunden, eng als Akustik-Absorber Elemente auf einer Trägerplatte fixiert oder einzeln verarbeitet als Trink-Halme verkauft.

Für die Schilf-Produkte gibt es einen etablierten Markt, für den derzeit der Rohstoff zu über 80 % importiert werden muss (Wichmann & Köbbing 2015; Becker et al. 2020), da nicht genügend Ernte-

bzw. Anbaufläche in Deutschland zur Verfügung steht. Bisher findet die Rohrwerbung für Dachschilf in Deutschland in natürlichen Röhricht-Beständen statt, wofür die Rohrwerber befristete Genehmigungen der jeweiligen Naturschutz- oder Umweltbehörden benötigen (GMC et al. 2019). Es gibt allerdings eine hohe Nachfrage nach regional produziertem Schilf. Um das gesamte aktuelle Marktvolumen (ca. 3 Mio. Bunde) von Dachschilf in Deutschland decken zu können, wird der Flächenbedarf für Schilf-Paludikultur auf max. 10.000 ha geschätzt (Becker et al. 2020). Der Anbau von Schilf wurde und wird in verschiedenen Versuchen erprobt, Forschungsbedarf besteht u.a. zu Schilfqualität und Ertrag in Abhängigkeit von den Standortbedingungen.

Der Rohrkolbenanbau findet bisher erst auf wenigen Versuchsflächen statt, wodurch noch keine ausreichenden Rohstoffmengen für den Aufbau nachgelagerter Verarbeitungskapazitäten zur Verfügung stehen. Die aussichtsreichen Bau- und Dämmstoffe aus Rohrkolben gibt es bisher nur als Prototypen und in Kleinserien (z.B. TyphaBoard von typha technik Naturbaustoffe und Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP). Auch die kostspielige Zertifizierung und Zulassung von Rohrkolben-Produkten wird erst mit der Etablierung von Anbauflächen und ausreichend hoher Liefersicherheit erfolgen.

Über aufwendigere Verarbeitungsverfahren kann heterogene Biomasse aus der Ernte von **Nasswiesengräsern** ebenfalls zu Bau- und Dämmstoffen und zu weiteren Werkstoffen verarbeitet werden. Je nach Anwendung wird die Biomasse zu einem höheren Grad prozessiert – etwa zerkleinert, ausgepresst, aufgefasert und damit mechanisch, chemisch oder mittels Wärme- und Druckzufuhr verändert, um die angestrebten Produkthanforderungen zu erreichen. Paludikultur-Biomasse kann dabei (perspektivisch) in bestehenden Verwertungsverfahren neu integriert werden, die zwar nicht speziell für Paludikulturen entwickelt wur-

3. Verwertung von Paludikultur-Biomasse

den, aber in denen grasartige Biomasse verarbeitet werden kann. Ggf. sind (technische) Anpassungen an die Besonderheiten von Paludikultur-Biomasse oder eine Vorbearbeitung der geernteten Biomasse vorzunehmen. Mögliche Produkte sind: Grasfaserdämmplatten, Zellulose-Einblasdämmstoffe, Zelloleschaumplatten, Faserplatten für Möbel- oder Innenausbau sowie andere Plattenwerkstoffe, wie z.B. für die Automobilindustrie von Innenverkleidungen bis zu Mattenmaterialien für Schallschutz und als Polstermaterial. Außerdem können die Rohstoffe als Füllstoff für Mischkulturen mit leis-

tungsfähigen Komponenten eingesetzt werden. Wichtig ist auch die Verwendung von den sekundären Rohstoffen, also Reste z.B. nach Faseraufbereitung die in andere Kaskaden zugeführt werden können.

Kennwerte einzelner Paludikultur-Dämmstoffe zur Wärmeleitfähigkeit und Rohdichte sind in Tabelle 3.5 zusammengetragen. Im Wesentlichen sind die Werte vergleichbar mit anderen Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen.



Abb. 3.3: Schilf-Dämmplatte. Foto: Hiss-Reet



Abb. 3.4: Dachschilf (-Rohr) zur Dachdeckung. Foto: S. Abel



Abb. 3.5: Grasfaser-Dämmplatten von Gramiterm. Foto: A. Nordt



Abb. 3.6: Bau- und Dämmplatte aus Rohrkolben (TyphaBoard). Foto: typha technik

3. Verwertung von Paludikultur-Biomasse



Abb. 3.7: Faserverbundplatte aus Nasswiesen-Biomasse. Hergestellt von ZELFO Technology. Foto: S. Manzel



Abb. 3.8: Schrank-Treppen-Element aus Gras-Faser-Verbundplatten im Paludi-Tiny-House von Moor-and-more



Abb. 3.9: Akustik-Elemente aus Schilf-Halmen von HISS-Reet. Foto: A. Nordt



Abb. 3.10: Prototyp einer Schaumplatte aus Paludikultur-Biomasse. Hergestellt von Fraunhofer Institut für Holzfor-schung WKI. Foto: S. Manzel



Abb. 3.11: Test mit Rohrkolben-Einblasdämmung. Foto: W. Wichtmann



Abb. 3.12: Einblasdämmstoff aus Rohrkolben-Biomasse. Foto: W. Wichtmann

Tab. 3.5: Kennwerte verschiedener Dämmstoffe (Prototypen und Produkte) aus bzw. mit Paludikultur-Rohstoffen (Quelle: GMC 2022b: Steckbriefe „Produkte aus Paludikultur“)

Produkt	Anwendung	Wärmeleitfähigkeit [W/(m*K)]	Rohdichte [kg/m ³]
Schilfrohrplatte	Innendämmung, Innenausbau	0,065	145
	Putzträger	0,059	190–220
	Innen-/Außen-/Dachdämmung	0,061	155
	Dämm-/Schall-/Putzträgerplatte	0,055	
Rohrkolbenplatte TyphaBoard	Innen-/Dach-/Trittschalldämmung	0,040 0,048–0,060	
Einblasdämmung	Dämmung	0,040	80–90
Dämmmatten	Gras: Innen-/Außen-/Dachdämmung	0,041	40
Schaumplatten	Dämmstoff	0,037–0,040	65–97

Der Marktanteil von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen (NAWARO) betrug 2019 in Deutschland 9 %. Die Tendenz ist steigend. Das entspricht einer Menge von 3,5 Mio. m³. Die NAWARO-Dämmstoffe wurden etwa zu je knapp einem Viertel als Einblasdämmung und Mattendämmung angewendet, mehr als die Hälfte in Form von Plattendämmung²⁹. Demgegenüber wurden in 2019 ca. 18,5 Mio. m³ (48 %) Dämmstoffe aus fossilen Rohstoffen in Deutschland abgesetzt, sowie weitere 16,5 Mio. m³ (43 %) Dämmstoffe aus mineralischen Rohstoffen. Bei einem jährlichen Dämmstoffbedarf von 38,5 Mio m³ in Deutschland ergäbe sich für Dämmstoffe aus Paludikultur bei einem Marktanteil von 10 % ein theoretischer Flächenbedarf von 640.000 ha. Dies verdeutlicht das hohe Flächenpotential für diese Verwertungsoption.

Würde der geringe oder sogar negative carbon footprint der Paludikultur-Dämmstoffe dem Produkt angerechnet, führt das zu einem Marktvor-

teil und könnte die Nachfrage nach Paludikultur-Rohstoffen erhöhen (Nordt & Dahms 2021; siehe Box 3.1). Zum Beispiel könnte der carbon footprint von Bau- und Dämmstoffen bei (öffentlichen) Bauvorhaben als ein Auswahlkriterium für zu verwendende Materialien verwendet werden und hätte damit eine positive Signalwirkung sowohl für die Rohstoffproduzenten, d.h. Landwirt*innen, als auch auf den Aufbau von Verarbeitungskapazitäten.

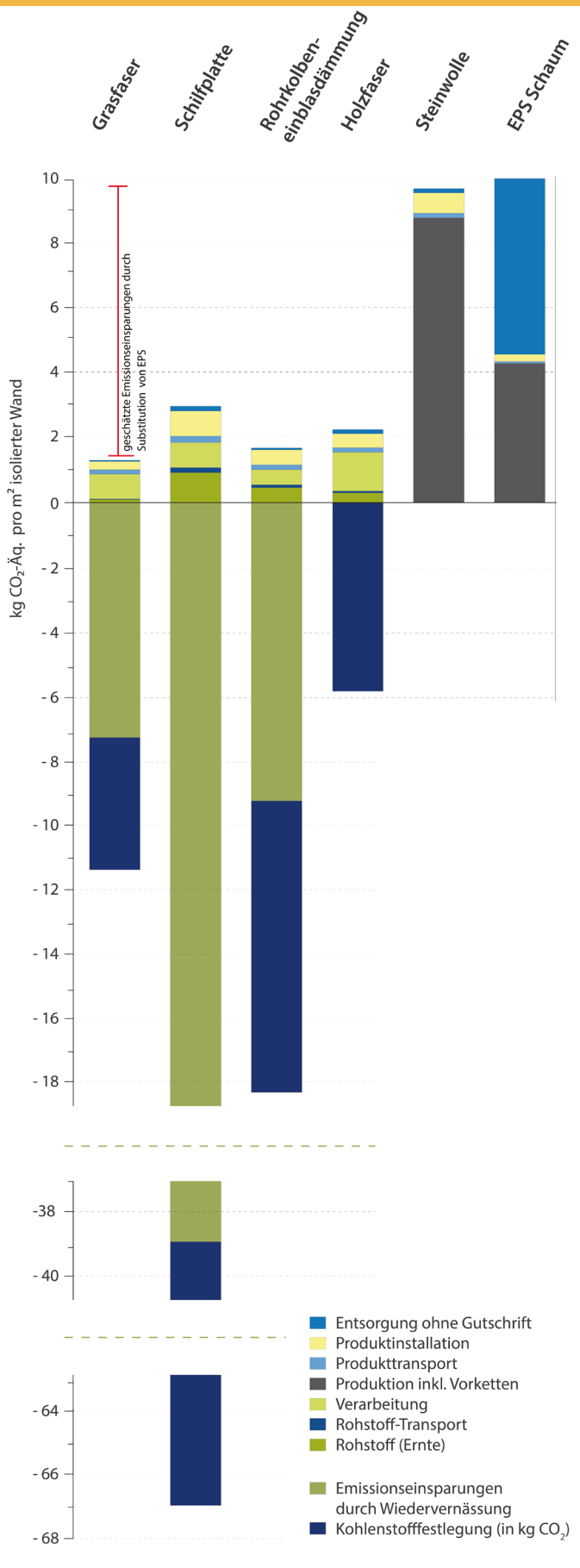
Ein substantieller Anstieg der Nachfrage nach Bau- und Dämmstoffen aus Paludikultur wird erst dann erfolgen, wenn aus Prototypen Produkte entstehen und diese professionalisiert sind, d.h. wenn alle Kennwerte für das Produkt sowie für Bauteile verfügbar sind. Erst damit sind die Produkte auch für Architektur- und Planungsbüros ohne großen Mehraufwand zugänglich.

Der Rohstoffpreis liegt für Dachschilf und Schilfplatten bei ca. 450 EUR je t für ausgeputztes

²⁹ <https://news.fnr.de/fnr-pressemitteilung/marktanteil-von-nawaro-daemmstoffen-waechst>

Box 3.1 Carbon footprint von Dämmstoffen aus Paludikultur

(nach Nordt & Dahms 2021)



Die Abbildung zeigt den Vergleich des carbon footprint von Weichfaserplatten aus Gras, Schilfplatten aus gebundenen Schilfhalmern und Einblasdämmung aus Rohrkolbenhäcksel mit Holzfaserdämmung, Steinwolle und EPS-Hartschaum für Wand und Dachdämmung. Der Vergleich basiert auf einer 1 m² gedämmten Wand als funktionelle Einheit.

Die Daten zu den THG-Emissionen von Holzfaserdämmung, Steinwolle und EPS-Hartschaum entstammen den jeweiligen Umweltproduktdeklarationen der einzelnen Produkte. Bei den Dämmstoffen aus Paludikultur wurden Emissionsfaktoren für die Wiedervernässung organischer Böden genutzt, sowie die direkten Emissionen aus Ernte, Transport, Verarbeitung, Installation und End-of-Life-Behandlung geschätzt. Während die Verbrennung eines Produkts am Ende seiner Lebensdauer in der Regel als Gutschrift (d.h. Emissionseinsparung durch Ersatz fossiler Brennstoffe) angerechnet wird, wurde dies hier nicht berücksichtigt. Der Grund dafür ist, dass die Produktlebensdauer über das Jahr 2050 hinausgeht und Deutschland bis dahin kohlenstoffneutral sein wird. Entsprechend werden keine fossilen Brennstoffe mehr verwendet, die dann auch nicht mehr ersetzt werden können. Die berechnete Festlegung von Kohlenstoff in den langlebigen Produkten erfolgt auf Basis des jeweiligen Kohlenstoffgehalts der Paludikultur-Biomasse und dem Gewicht.

Diese Abschätzung zeigt das Potential für klimafreundliche Dämmstoffe auf Basis von Biomasse aus vernässten Mooren. Der Ersatz von Steinwolle oder EPS-Schaum führt zu THG-Einsparungen von bis zu ~8,5 kg CO₂ pro m² gedämmte Wand. Die Kohlenstoffspeicherung in den Paludikultur-Produkten ist ähnlich hoch wie die THG-Einsparungen durch Substitution (4 bis 9 kg CO₂ pro m² gedämmte Wand). Bei der Schilfplatte ist sie um eine Größenordnung höher (28 kg CO₂ pro m² Wand), wegen des hohen Biomasseeinsatzes. Die Einsparung von THG-Emissionen durch Wiedervernässung ist abhängig von der Menge der Biomasse im Produkt und der Produktivität des Standorts. Die Dämmstoffe aus Paludikultur leisten zwischen 7 und fast 39 kg CO₂ Emissionsreduktion pro m² gedämmter Wand.

Die Menge an CO₂, welche in langlebigen Produkten aus Paludikultur gespeichert wird, ist fast so hoch wie die Reduktion der CO₂-Emissionen durch Wiedervernässung. Die betrachteten Schilf- und Rohrkolbendämmstoffe bestehen (nahezu) aus 100 % Biomasse und haben eine geringe Verarbeitungsintensität.

Schilf. Für Rohrkolben zur Dämmplattenherstellung liegt der Rohstoffpreis bei ca. 150 – 300 EUR je t (Wichmann et al. 2022a). Durch globale Liefer- und Transportprobleme liegt der Preis für Schilfbunde in Deutschland aktuell bei z.T. mehr als dem Doppelten des durchschnittlichen Preises (Stand 6/2022).

Weitere Informationen:

- Wichmann et al. (2022a): Lösungsansätze zum Erreichen der Klimaschutzziele und Kosten für die Umstellung auf Paludikultur. Hintergrundpapier zur Studie „Anreize für Paludikultur zur Umsetzung der Klimaschutzziele 2030 und 2050“
- Nordt et al. (2020): Machbarkeitsstudie Aufwuchsverwertung und Artenvielfalt in der Leader-Region „Kulturlandschaften Osterholz“.

- Fraunhofer-Institut für Bauphysik; <https://www.ibp.fraunhofer.de/de/projekte-referenzen/baustoff-aus-typha.html>
- GMC (2019): Faktenpapier Rohrwerbung Mecklenburg-Vorpommern
- 3N Kompetenzstelle Paludikultur; <https://www.3-n.info/projekte/laufende-projekte/kompetenzstelle-paludikultur/>
- Paludi-PRIMA Vorhaben (2019-2022) zu Anbau von Rohrkolben; <https://www.moorwissen.de/de/paludikultur/projekte/prima/index.php>
- FNR: <https://news.fnr.de/fnr-pressemitteilung/marktanteil-von-nawaro-daemmstoffen-wachst>

3.1.4 Papier und Formteile

Fasern aus Paludikultur-Biomasse bieten ein Potential für die Verwendung in der Papier- und Faser-gussherstellung. Tabelle 3.6 gibt eine Übersicht über bestehende und perspektivische Anwendungen.

Tab.3.6: Übersicht über die Möglichkeiten, aus Paludikultur-Biomasse Papier und Formteile herzustellen.

Stoffliche Verwertung: Papier und Formteile				
Produkt	Paludikultur	Erntezeit/Nut-zungszeitraum	Anwendung	Anwendungs-potential
Papier, Pappe, Karton	Nasswiesen-Bio-masse (pelletiert)	Sommer, später Schnitt	z.B. als Transport-verpackungen (Falt-schachtelkarton)	Graspapier-Verpa-ckungen am Markt verfügbar auf Ba-sis von Wiesenheu, bisher keine An-wendung von Palu-dikultur-Biomasse bekannt
Faserguss	Halmgutartige Bio-masse (z.B. Schilf, Rohrkolben, Nass-wiesen)	Sommer, später Schnitt	„Eierkartons“, Form-teile für Verpackun-gen, Einweggeschirr (z.B. für To-Go-Le-bensmittel)	Verpackungen für Lebensmittel, In-dustrie-Transport-verpackungen

3. Verwertung von Paludikultur-Biomasse

Papier, Pappen und Kartonage

Grundlage für die Herstellung von Papier, Pappe und Kartonage ist Zellstoff, welcher aus Zellulose aus Pflanzen hergestellt wird. Über 90 % des Zellstoffs wird weltweit aus Holz gewonnen. Jedoch kann Zellulose auch aus Halmgütern wie Gras, Schilf und Stroh gewonnen werden. Die Verwendung von Gras als Rohstoff in der Papierherstellung reduziert den Wasser- und Energiebedarf um jeweils über 90 %, zudem müssen – im Gegensatz zur Zellstoffherstellung aus Holz – keine Chemikalien verwendet werden. Es ist zu erwarten, dass Rohstoffe aus Paludikulturen in Mischungen mit bisher genutzten Zellstoffen Anwendung finden werden (pers. Mitteilung S. Tech, 2022).

Für die Verarbeitung wird trockene Biomasse (Heu) zerkleinert und kompaktiert (Abb. 3.13). Als Graspellets können sie im weiteren Verarbeitungsprozess in bestehende Produktionsabläufe eingebracht werden. Dafür ist es notwendig, dass die Graspellets den Rohstoffanforderungen entsprechen. Dazu zählen u.a. die Auflösbarkeit innerhalb von 20 Minuten im Pulper, spezifische Faserlängen der Zielfraktion (0,8 – 1,2 mm für Papier), einem möglichst geringen Anteil von Grobpartikeln und Feinstoff (max. 20 %) sowie geringe Protein- und Zuckergehalte. Da die Aufbereitung rein mechanisch erfolgt, gehen die gesamten Inhaltsstoffe der Biomasse in den Prozess der Papier-, Pappe-, Karton-Herstellung ein. Dort haben sie ggf. negative Auswirkungen auf die Produktionsabläufe, z.B. durch Lösung im Prozesswasser und einem höheren Aufwand in der Wasser-Aufbereitung (Cruse et al. 2015). Durch ein angepasstes Management der bewirtschafteten Fläche (z.B. beim Erntezeitpunkt) können die Eigenschaften der Biomasse beeinflusst und somit die Auswirkungen reduziert werden.

Schilf eignet sich für die Papierindustrie, da es einen hohen Zellulosegehalt (40 – 50 %) und lange

Fasern besitzt (Cook et al. 1974). Die Fasern von Rohrglanzgras eignen sich besonders für die Herstellung von Feinpapieren: mit kurzen schmalen Fasern und einer hohen Fasermenge (Finell 2003, El Bassam 2010).

Vortests mit überständigen Feuchtwiesengräsern waren 2020 aussichtsreich (pers. Mitteilung M. Croheck in Nordt et al. 2020). Es wurden folgende Kriterien für eine erste Einschätzung zur Eignung der Biomasse für die Papierherstellung aufgeführt (pers. Mitteilung C. Croheck 2020): Heuballen sollten möglichst frei von Verunreinigungen sein, das Rohmaterial sollte verschiedene Gräserarten beinhalten, der Feuchtegehalt sollte so gering sein, dass eine Lagerung möglich ist und Schimmelbildung vermieden werden kann, da diese Geruchsauswirkungen auf das Endprodukt hätte. Bisherige Tests zur Anwendung von Heu als Rohstoff für die Zellstoff- und Papierindustrie ergaben eine Verbesserung der Biegesteifigkeit und damit eine gute Eignung im Bereich der Kartonage-Herstellung für nachhaltige Verpackungen (Höller et al. 2021, Cruse et al. 2015).

Durch den anhaltenden Trend zu Online- und Versandhandel steigt der Bedarf an Transportverpackungen, die größtenteils aus Karton und Pappen hergestellt werden. In 2019 wurden in Deutschland über 12,1 Mio. t Papier, Karton und Pappe für die Verwendung als Verpackung produziert (FNR 2020). Der gesamte Produktionsumfang lag bei 22,1 Mio. t Papier, Pappe, Karton, neben Verpackungen zählen dazu Hygienepapier, grafische Papiere und Papiere für spezielle technische Anwendungen.

Insgesamt wurden 2019 5,2 Mio. t Frischfaser bzw. Faserstoff (23 %) und 17,1 Mio. t Altpapier (77 %) für die Produktion von Papier, Pappe, Kartonage in Deutschland verbraucht (Zell- und Faserstoffe, FNR 2020). Das theoretische Marktpotential für Grasfasern in diesem Herstellungsprozess umfasst

hierbei den Anteil des Faserstoffs, also ca. 5 Mio. t pro Jahr. Ausgehend von einer Produktivität von 3 t pro ha ergäbe sich ein Flächenbedarf – bei einer Produktion der Ausgangsstoffe zu 30 % aus Paludikultur – von 500.000 ha, was mehr als ein Drittel der landwirtschaftlich genutzten Moore in Deutschland entspricht.

Eine Skalierung der Verwendung von Grasfasern in der Produktion wäre möglich, in dem zu Beginn geringere Grasfaseranteile im Endprodukt genutzt werden (z.B. 10 – 20 %), welche mit steigender Erfahrung und potentiellen technischen Anpassungen in Zukunft erhöht werden könnten. Kleinere Papiermaschinen produzieren ca. 40.000 t Papier, größere Anlagen produzieren bis zu 400.000 t Papier pro Jahr. Bei einem Substitutionsanteil von 30 % des klassischen Holzzellstoffs mit dem neuen grasartigen Faserstoff ergibt sich ein Bedarf von 12.000 bzw. 120.000 t pro Jahr je Anlage. Schätzungsweise wird für 1 t Faserstoff 1,25 t Nasswiesen-Heu benötigt. Regionale Graspellet-Anlagen sollten mind. 4.000 t Pellets erzeugen, um wirtschaftlich betrieben werden zu können (Cruse et al. 2015), wofür ca. 5.000 t Heu benötigt werden. Sinnvoll kann zudem eine Anbindung an vorhandene Wärmeerzeugungsanlagen sein, um eine gesicherte Heutrocknung zu ermöglichen. Der Rohstoffpreis für Nasswiesen-Heu richtet sich in etwa am regionalen Heupreis aus und liegt bei 80 – 150 EUR je t.

Nasswiesenbiomasse aus Paludikultur erscheint als Rohstoff für Graspapier gut geeignet. Eine große Herausforderung bei der Rohstoffproduktion besteht in der Bodentrocknung bei geringen Grundwasserflurabständen im Sommer („Heuwetter“) in Verbindung mit der notwendigen Liefersicherheit, so dass auch in nassen Jahren genug Rohstoff zur Verfügung gestellt werden kann.



Abb. 3.13: Pellets aus Nasswiesen-Heu könnten dezentral produziert werden und in bestehende Produktionsabläufe eingebracht werden. Foto: M. Meyer

Weitere Informationen:

- Cruse et al. (2015): Entwicklung eines Verfahrens zur Gewinnung von Gras als Rohstoff und Verarbeitung für die Herstellung von Papierprodukten unter besonderer Berücksichtigung des Aufbaus einer nachhaltigen Wertschöpfungskette.
- www.paludikultur-niedersachsen.de
- Dietz et al. (2014): Ersatz klassischer Faserstoffe durch biogene Reststoffe Teil 1 und Teil 2, Wochenblatt für Papierfabrikation 4/2014 und 5/2014 (allgemeiner Überblick, kein Bezug zu Paludikulturen)

3. Verwertung von Paludikultur-Biomasse

Faserguss/Formteile

Für Faserguss-Produkte wird ebenfalls Zellstoff aus Frisch- und Recyclingfasern verwendet. Einige Produzenten verwerten faserige Gärreste aus der Biogaserzeugung, Stroh und agrarische Reststoffe. Faserguss-Produkte sind Einweg-Produkte, die recycelt und/oder kompostiert werden können. Ein typisches Faserguss-Produkt sind Eierkartons und ähnliche stoßdämpfende (Lebensmittel-) Transportverpackungen. Zudem werden Faserguss-Verpackungen verstärkt für den Bereich der To-Go-Fertigspeisen und als Einweggeschirr hergestellt (Abb. 3.14). Die Verpackungen können mit einer wasserresistenten, fettabweisenden Barrierebeschichtung versehen werden. Daneben werden Fasergussformteile zunehmend als Verpackung von elektronischen Geräten, in der Leicht- und Autoindustrie, Landwirtschaft und für Kosmetik eingesetzt und ersetzen (EPS-)Verpackungen auf Erdölbasis. Weiteren Einsatz finden Faserguss-Produkte als Einwegnutzungen im klinischen und Gesundheitsbereich. Aktuelle Weiterentwicklungen befassen sich mit der Integration neuer Eigenschaften in Faserguss-Produkte, z.B. um sie feuerhemmend und thermisch stabiler zu machen (Strauss 2018).

Faserguss-Produkte werden oft in Verbindung mit ihren ökologischen Vorteilen vermarktet. Aktuell werden bereits erste Eierkartons mit einem Grasfaseranteil von 50 % angeboten, welcher jedoch nicht aus Paludikulturen stammt. Der Einsatz von halmgutartigen Aufwüchsen aus wiedervernässten Mooren kann zu einer (weiteren) Reduktion des carbon footprint des Produktes beitragen (siehe dazu Kapitel 3.1.3). Um die Einsparung zu quantifizieren und vergleichbar zu machen, sind jedoch produktbezogene Lebenszyklusanalysen notwendig. Zudem muss eine angepasste Aufbereitung des (Paludi-)Rohstoffes erfolgen, um die werkstoffliche Verarbeitung im Prozess sicherzustellen, vorteilhafte Eigenschaften des Rohstoffes nutzbar zu machen und störende oder schädliche Inhaltsstoffe

des Rohstoffes zu entfernen. Es wird ein Anteil von ca. 30 % Paludikultur-Biomasse geschätzt, der im Fasergussprozess als Frischfaser eingesetzt werden könnte (pers. Mitteilung S. Tech, 2022). Der Rohstoff sollte möglichst ohne Fremdkörper und förderbar sein (Schüttgut). Im industriellen Einsatz sind Tonnagen über 1.000 t je Jahr notwendig, um Anlagen wirtschaftlich betreiben zu können. Der Preis für eine Tonne (vor-aufbereiteten) Rohstoff orientiert sich am Preis für Recyclingpapier (ca. 180 EUR je t für sortiertes, gemischtes Altpapier in Deutschland, +/- 30 EUR je t), für hochwertige Faserguss-Produkte, z.B. im Lebensmittelkontaktbereich, liegt der Preis etwas höher.

Das Potential der Rohstoffbereitstellung aus Paludikultur wird ähnlich gut eingeschätzt.



Abb. 3.14: Einweggeschirr aus Schilf und Rohrkolben. Prototypen von Biolutions. Foto: S. Abel.

3.1.5 Bioraffinerie zur Erzeugung von Plattformchemikalien und Kunststoffen

In der Bioraffinerie werden die Komponenten der Biomasse zu verschiedenen Zwischen- und Endprodukten verarbeitet (Tab. 3.7).

Bei der Lignocellulose-Bioraffinerie wird die Biomasse über die Komponententrennung in Zellulosebestandteile, Hemizellulose und Xylosen sowie Lignin gespalten. In einem hydrothermalen Verfahren (unter erhöhtem Druck und erhöhter Temperatur) werden die Kohlenhydrate in diesem ersten Verfahrensteilschritt gelöst und die Xylosen zu Furfural raffiniert. In der Chemie findet Furfural Einsatz als Basischemikalie für z.B. Kunstharze, aber auch Arznei- und Naturstoffe (Türk 2014). Aus 100 kg Heu können ca. 10 kg Furfural hergestellt werden. Aus dem Lignin können Phenolmi-

schungen verarbeitet werden, welche z.B. in Harzen und Lacken verwendet werden.

Die Zellulose und ihre Hydrolyseprodukte aus halmgutartiger Biomasse reagieren in wässrigem Medium unter hydrothermalen Bedingungen zu HMF, der biobasierten Basischemikalie 5-Hydroxymethylfurfural (Steinbach et al. 2017). Aus HMF können biobasierte Kunststoff-Verpackungen hergestellt werden. HMF ist ein vielseitig erneuerbarer Grundbaustein und zählt neben Furfural zu den 12 wichtigsten biobasierten Plattformchemikalien der Zukunft (Bozell & Petersen 2010).

Die Herstellung von HMF und Furfural aus halmgutartiger Biomasse ist technisch möglich, befindet sich zurzeit im Technikumsmaßstab (TRL 6) und wird aktuell weiter hochskaliert. Derzeit existiert noch kein attraktiver Abnahmemarkt für das HMF. Die Folgechemie, d.h. die Produktentwicklung der

Tab. 3.7: Übersicht über die Möglichkeiten, aus Paludikultur-Biomasse Plattformchemikalien und Kunststoffe herzustellen.

Lignocellulose Bioraffinerie: Plattformchemikalien und Kunststoffe				
Produkt	Paludikultur	Erntezeit/Nutzungszeitraum	Anwendung	Anwendungsbereiche
Proteine	Nasswiesen	mehrschürig	Proteine	Tiernahrung (siehe Kapitel 3.1.1), Nahrungsergänzungsmittel
Furfural	halmgutartige Paludikulturen	Später Schnitt, max. 2-schürig	Kunstharze, Plattformchemikalie	z.B. Medikamente, Pflanzenschutz, Polymerharze
HMF	Nasswiesen, halmgutartige Paludikulturen	Später Schnitt, max. 2-schürig	Plattformchemikalie	Kunststoffe, z.B. PEF für Verpackungen, Flaschen, Fasern u.ä., Medikamente, Pflanzenschutz etc.
Lignin	Nasswiesen, halmgutartige Paludikulturen	Später Schnitt, max. 2-schürig	Plattform Aromatische Monomere und Oligomere	Harze, Lacke, Bindemittel etc.

3. Verwertung von Paludikultur-Biomasse

Zwischenprodukte zu marktfähigen Endprodukten, ist noch in der Entwicklung (Dahmen et al. 2018). Derzeit stehen noch zu geringe Mengen zur Verfügung. Auch hier wird an der Skalierung der Verfahren gearbeitet. Die Marktreife kann in wenigen Jahren erreicht sein. Die konzeptionelle Entwicklung beinhaltet dabei „Hof-Bioraffinerien“, d.h. die dezentrale Aufbereitung der Rohstoffe dort, wo sie geerntet werden. Die Umsetzung in einem wässrigen Medium (Green-Chemistry-Ansatz) ermöglicht einen dezentralen, regionalen Betrieb ohne große Infrastrukturanforderungen. Der Prozess ist in einzelne Teilmodule aufgegliedert. So können je nach Konfiguration verschiedene Arten von (halmgutartiger) Biomasse zur Chemikalienproduktion verwendet werden. Ist der Proteingehalt bei sommerlich geernteter Biomasse hoch, ist ein Modul zur Proteinabtrennung nötig, da Proteine in den Folgeprozessen stören können. Dies macht die Anlage zwar in der Anschaffung und dem Betrieb etwas teurer, dafür wird mit dem abgetrennten Protein ein weiteres Produkt hergestellt, das beispielweise als Futtermittel genutzt werden könnte (siehe Kapitel 3.1.1). Später im Jahr geerntete Biomasse (ein- oder zweischürige Mahd) enthält dagegen kaum Proteine. Sie muss getrocknet und lagerfähig sein, um einen ganzjährigen Betrieb der Bioraffinerie trotz der Saisonalität der Biomassebereitstellung sicherzustellen. Paludikultur-Biomasse wurde bisher nur in Labor-Tests im Rahmen von Vorstudien angewendet. Diese ergaben eine ähnlich gute Eignung für die Lignocellulose-Bioraffinerie. Die Rohstoffpreise sind am Heupreis orientiert und liegen bei 80 – 150 EUR je t.

Die Materialpreise für biobasierte und biologisch abbaubare Kunststoffprodukte sind zwei- bis dreimal höher, als derzeit die Preise für konkurrierende petrochemische Materialien. Neben der Prozessoptimierung wird die Rentabilität von Bioraffineriekonzepten durch die Marktpotentiale biobasierter Produkte beeinflusst, die im Gegensatz zu fossil basierten Produkten funktionale Vorteile durch

bessere Materialeigenschaften und bessere Nachhaltigkeit bieten (FNR 2014).

HMF kann etwa zu Polyethylenfuranoat (PEF) weiterverarbeitet werden, ein biobasiertes Hochleistungspolymer mit hervorragenden physikalisch-chemischen Eigenschaften im Vergleich zu anderen Polyestern, wie zum Beispiel PET (Burgess et al. 2014). PEF kann sortenrein recycelt und (bei kleinen Volumina zu Beginn des Markteintritts) zusammen mit PET wiederverwertet werden.

Allein in Deutschland werden jährlich ca. 660.000 t an neu produziertem Verpackungs-PET gehandelt. In Zukunft könnte dies durch PEF ersetzt werden, welches aktuell noch nicht in großem Umfang hergestellt wird. PEF hat zudem bessere mechanische Eigenschaften, wodurch weniger Material für die Produktion von Verpackungen verwendet werden muss. In Deutschland haben Kunststoffverpackungen ein Marktpotential mit einem Volumen von etwa 15 Mrd. EUR. Etwa ein Drittel davon entfällt auf Verpackungsfolien und Folienherzeugnisse. Im Jahre 2016 betrug die Produktion von Biokunststoffen weltweit etwa 4,2 Mio. t. 48 % der Biokunststoffe werden zurzeit in der Verpackungsindustrie eingesetzt³⁰.

Weitere Informationen:

- [Konversionstechnologien Universität Hohenheim](#)
- Bundesregierung (Hrsg., 2014): [Roadmap Bioraffinerien im Rahmen der Aktionspläne der Bundesregierung zur stofflichen und energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe](#).
- Dahmen et al. (2018): [Integrated lignocellulosic value chains in a growing bioeconomy: Status quo and perspectives](#).
- Institute for Bioplastics and Biocomposites (2021): [Biopolymers, facts and statistics 2021](#).

³⁰ <https://www.k-zeitung.de/marktprognose-biokunststoffe-sieht-starkes-wachstum/>

3.1.6 Substrate und Blumenerden für den Gartenbau

Neben Torfmoosen werden auch andere Paludikulturen als Torfersatz bzw. Substratausgangsstoff untersucht (Tab. 3.8).

In Deutschland werden aktuell jährlich etwa 8 Mio. m³ Torf auf ca. 10.000 ha abgebaut, zusätzlich werden 3,7 Mio. m³ torfbasierte Rohstoffe und Substrate importiert (BMEL 2022a). Circa 52 % der Produkte der deutschen Substratindustrie (etwa 4 Mio. m³) sind Kultursubstrate für den Erwerbsgartenbau, von denen über die Hälfte zur Gemüsepflanzen-Anzucht eingesetzt werden, 48 % (etwa 3,7 Mio. m³) sind Blumenerden für den Hobbygartenbau (BMEL 2022a).

Hochmoortorfe sind derzeit der wichtigste Rohstoff für gärtnerische Substrate und Blumenerden. Aufgrund von Moorschutzaspekten und den THG-

Emissionen, die bei Abbau und Verwendung von Torf freigesetzt werden, erfolgt seit Jahren eine intensive Suche nach und Entwicklung von Alternativen. Politische Zielstellungen, wie z.B. Torfminierungsstrategien bestätigen dies. Angestrebt wird der vollständige Verzicht von Torf im Hobbybereich bis 2026 und der weitgehende Ersatz im Erwerbsgartenbau bis 2030³¹. Der aktuelle Anteil von Torfersatzstoffen bei Blumenerden für den Hobbybereich liegt bei 30 %, im Erwerbsgartenbau bisher nur bei 10 % (BMEL 2022a). Bisher werden Kompost (750.000 m³), Holzhäcksel und -fasern (500.000 m³), Rindenumus (300.000 m³) und Kokosfasern (100.000 m³) als organischer Substratausgangsstoff in Deutschland genutzt, um den Torfanteil in Kultursubstraten zu reduzieren. Aufgrund von Nutzungskonkurrenz oder hohem Transportaufwand sind sie nur in begrenztem Umfang verfügbar oder können aufgrund der hohen Qualitätsansprüche im Erwerbsgartenbau nur anteilig im Substrat verwendet werden.

Tab. 3.8: Übersicht über die Möglichkeiten, aus Paludikultur-Biomasse Substrat-Ausgangsstoffe und Blumenerden herzustellen.

Stoffliche Verwertung: Substrate und Blumenerden

Produkt	Paludikultur	Erntezeit/Nutzungszeitraum	Anwendung	Anwendungspotential
Substratausgangsstoff im (Erwerbs-) Gartenbau	Torfmoos	Ernte alle 3–5 Jahre	Ausgangsstoff für hochwertige Substrate (als Torfersatz)	Ersatz von 3,5 Mio. m ³ Weißtorf pro Jahr; 35.000 ha Flächenbedarf
Substratausgangsstoff/Blumenerden	Nasswiese, Rohrkolben	Herbst, Winter	Zuschlagsstoff für Substratmischungen	als Torf- oder Kompostersatz
Substrate für Spezialkulturen	Torfmoos	Ernte alle 3–5 Jahre	Orchideenzucht, Terrarien etc.	Nischenmarkt ist vorhanden

³¹ Klimaschutzprogramm 2030

3. Verwertung von Paludikultur-Biomasse

Torfmoose

Torfmoos- Paludikultur ist eine geeignete Kultur insbesondere für Hochmoorstandorte. Hierbei werden Torfmoose (*Sphagnum spec.*) kultiviert (siehe Kapitel 2.2.4 und 7.2), um die Biomasse zu ernten und als nachwachsenden Rohstoff, u.a. zur Herstellung von hochwertigen Kultursubstraten für den Gartenbau, zu nutzen. Torfmoos-Biomasse hat ähnliche Eigenschaften wie schwach zersetzter Torf und ist deshalb hervorragend als Substratausgangsstoff geeignet. Schwach zersetzter Hochmoor-Torf wurde ursprünglich auch von Torfmoosen vor Jahrhunderten- bzw. Jahrtausenden in natürlichen Mooren gebildet.

Die Eignung von Torfmoos-Biomasse als Gartenbausubstrat ist vielfach nachgewiesen, wobei ein Volumenanteil im Kultursubstrat von 50 % ohne Qualitätsverlust, aber oft auch darüber hinaus (teilweise bis 100 %) durch Torfmoos-Biomasse ersetzt werden kann (Gaudig et al. 2018, Abb. 3.16). Die Schüttdichten von Torfmoos-Biomasse sind abhängig vom Wassergehalt und der Fraktionsgröße und liegen zwischen 12 – 48 g TM je L bzw. 31 – 283 g FM je L (Wichmann et al. 2020).

Torfmoose werden zudem als Ganzes oder in Mischungen bereits genutzt für Spezialkulturen, wie Orchideen oder für karnivore Pflanzen. Aktuell wird dafür lebende Torfmoos-Biomasse aus natürlichen Mooren geerntet. 2013 wurde dafür eine Gesamt-Menge von 9000 m³ Sphagnum in die Niederlande, Frankreich und Deutschland importiert (Schmilewski 2017).

Weitere Anwendungsmöglichkeiten von Torfmoos-Biomasse sind vielfältig, unter anderem als Verbandsmaterial, Hygieneartikel (Windeln, Binden), in Ornamentik und Gartengestaltung, Dämmstoff im Baubereich, Transport- bzw. Verpackungsmaterial, Absorptionsmittel bei Chemikalienunfällen oder Wasserfilter.

Torfmoose als Saatgut: Um neue Torfmoos-Paludikulturflächen zu etablieren, ist das "Animpfen" – die Ausbringung von Torfmoos-Ausgangsmaterial ("Saatgut") notwendig. Nach Abziehen des degradierten Oberbodens, Anlegen einer Verwallung und eines Bewässerungssystems zur dauerhaften Aufrechterhaltung von Wasserständen wenige Zentimeter unterhalb der Torfmoosoberfläche, werden lebende Torfmoosabschnitte ausgestreut. Für die schnelle Etablierung einer neu eingerichteten Torfmoos-Anbaufläche hat sich die Ausbringung von 80 m³ Torfmoos-Saatgut je Hektar bewährt. Saatgut ist im notwendigen Umfang jedoch nicht verfügbar, denn Torfmoose sind geschützte Pflanzen und es stehen derzeit nur wenige Torfmoos-Anbauflächen zur Verfügung, auf denen Saatgut geerntet werden kann. Um dennoch ausreichend, reines und hochwertiges Saatgut zur Verfügung zu haben, wird aktuell die Massenproduktion von Saatgut in Bioreaktoren entwickelt. Bei einer Produktivität von 3 t TM je ha*a ist für den vollständigen Ersatz der jährlichen Nachfrage von 3 Mio. m³ Weißtorf (schwach zersetzter Torfmoos-Torf) in Deutschland eine Netto-Anbaufläche von 35.000 ha erforderlich (Wichmann et al. 2017). Für die Erhöhung der Produktivität und damit der Erträge wird eine Selektion hochproduktiver Torfmoos-Provenienzen durchgeführt³².

Die breite gartenbauliche Anwendung von Torfmoos-Biomasse als Substratausgangsstoff ist aus unterschiedlichen Gründen bisher allerdings noch nicht etabliert. Entscheidend ist der Rohstoffmangel, weil Torfmoos-Paludikultur derzeit noch nicht im großen Umfang umgesetzt wird. Zudem liegen für Torfmoos-Biomasse noch keine Kriterien für die RAL Gütesicherung vor, wie sie für jeden etablierten Substratausgangsstoff existieren. Des Weiteren sind geeignete (torffreie) Substratmischungen für einzelne Kulturen auf Basis von Torfmoos-Biomasse weiterzuentwickeln und die Kulturführung anzupassen.

³² <http://www.mooszucht.paludikultur.de>

Für Nischenmärkte ist Torfmoos-Biomasse aus Paludikultur bereits rentabel. Der aktuelle Rohstoffpreis für Torfmoos-Biomasse als Substratausgangsstoff für Spezialkulturen wie Orchideen liegt bei ca. 165 EUR je m³, als Saatgut für die Neueinrichtung von Paludikultur- oder Restaurationsflächen bei ca. 600 – 750 EUR je m³ (Wichmann et al. 2020). Derzeit ist Torfmoos-Biomasse teurer als Torf, für den der Rohstoffpreis bei ca. 10 – 25 EUR je m³ liegt, aber Umweltfolgekosten nicht eingepreist werden. Eine wachsende Zahlungsbereitschaft für torffreie bzw. torfreduziert produzierte Pflanzen ermöglicht zukünftig die Erhöhung des Erlöses. Mit einem 10 %-Preisaufschlag für ein torffreies Gartenbau-Produkt beim Endkunden wäre Torfmoos-Biomasse aus Paludikultur gegenüber Torf schon jetzt konkurrenzfähig (Wichmann et al. 2020).



Abb. 3.15: Frische Torfmoos-Biomasse. Foto: S. Wichmann.



Abb. 3.16: Poinsettia in Substrat aus 80 % Torfmoos-Biomasse. Foto: A. Prager.

Niedermoor-Biomasse für die Substratherstellung

Spät bzw. im Winter geerntete Biomasse aus wiedervernässten Niedermooren, wie etwa Rohrkolben, Schilf, Rohrglanzgras werden ebenfalls als möglicher Torf- oder Kompostersatz – etwa als Ersatz von Schwarztorf in der Jungpflanzenanzucht – mit ersten vielversprechenden Ergebnissen untersucht. Die Eigenschaften aufgefaserter, im Winter geernteter oberirdischer Paludikultur-Biomasse scheinen mit denen von Holzfasern vergleichbar und werden zunehmend als nachwachsender Rohstoff in gartenbaulichen Substraten eingesetzt. Gute Eigenschaften der neuen Ausgangsstoffe sind z.B. ein geringes Volumengewicht und eine hohe Luftkapazität. Zu den Herausforderungen gehört die Reduzierung der Stickstoff-Immobilisierung, die durch eine Kompostier-Phase verringert werden kann (Hartung & Meinken 2021).

Biomasse verschiedener Schnittzeitpunkte (Sommer, Herbst, Winter) und unterschiedliche Aufbereitungsmethoden (Häckseln, Auffasern, Kompostieren, Karbonisierung) wurden getestet. Im Sommer geernteter Rohrkolben wies erhöhte Salzgehalte auf, die die RAL-Grenzwerte überschritten, bei späteren Schnittzeitpunkten aber deutlich reduziert waren (Hartung & Eickenscheidt 2018). Grundsätzlich erscheint ein Anteil von 20 – 50 % Biomasse aus Niedermooren in Kultursubstraten möglich (Hartung & Meinken 2021), jedoch ist u.a. das hohe Potential von Rohrkolben zur Aufnahme von Nährstoffen, Schwermetallen und Herbiziden in seiner Wachstumsphase zu berücksichtigen (Atif & Scholz 2011, Sasmaz et al. 2008, Wilson et al. 2000). Fragen, die für eine Anwendung als Substratausgangsstoff zu klären sind, betreffen u.a. die Verfügbarkeit und damit verbundene Lagerung des Rohstoffs, die Kontamination mit keimungsfähigen Samen sowie Optimierungsmöglichkeiten bei der Aufbereitung (Gramoflor 2020; pers. Mitteilung J. Ewert, 2021). Die Zahlungsbereitschaft für (aufbereitete) halmgutartige Biomasse als Torf- oder

3. Verwertung von Paludikultur-Biomasse

Kompostersatzstoff wird bei Substrateignung mit 10 – 25 EUR je m³ frei Werk angegeben (pers. Mitteilung J. Gramann, 2019).

Weitere Informationen:

- Amberger-Ochsenbauer & Meinken (2020): [Torf und alternative Substratausgangsstoffe.](#)
- www.torfmooskultivierung.de

3.1.7 Weitere (Spezial-)Verwertungsmöglichkeiten von Paludikultur-Biomasse

Die folgende Übersicht (Tab. 3.9) benennt weitere Nutzungspfade für (Spezial-)Paludikulturen, für die beispielsweise ein relativ geringer Flächen- oder Rohstoffumfang bereits ausreichend ist, um einen (vorhandenen) Markt zu bedienen. Sie erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Tab.3.9: Übersicht über die weiteren Verwertungsmöglichkeiten für Paludikultur-Biomasse.

Weitere Verwertungsmöglichkeiten				
Produkt	Paludikultur	Erntezeit/Nutzungszeitraum	Anwendung	Anwendungspotential
Medizinische Produkte (Phytopharmaka)	Sonnentau	Zur Blütezeit (Juli/August), manuelle Ernte	z.B. Hustensaft und Bonbons zur Therapie von Atemwegserkrankungen	Produkte etabliert, allerdings mit geringem Abnahmepotential
Futter für Nützlinge im ökolog. Anbau	Pollen von Rohrkolben	Sommer	Futter für Raubmilben als Bioinsektizid im Gemüseanbau (Gewächshaus)	Produkt etabliert, mögliches Koppelprodukt zu weiteren Rohrkolben-Verwertungen
Silizium für Akkus	Schilf (Blätter)	Sommer/Herbst	Anodenmaterial in Lithiumionen-Akkus	Sehr gute Eignung, bislang kein etablierter Nutzungspfad
Phytomining: Germanium und andere seltene Erden	Rohrglanzgras	Sommer/Herbst	Halbmetall zur Herstellung von Smartphones etc.	zukünftig relevant, derzeit noch nicht wirtschaftlich
Beeren	Cranberry	Sommer	Nahrungsmittel	Verbreitetes Produkt; Anbau allerdings (noch) nicht torferhaltend

Medizinische Produkte aus Sonnentau

Rundblättriger Sonnentau (*Drosera rotundifolia*) ist eine (geschützte) Pflanze, die in Hochmooren vorkommt und sich auch auf Torfmoos-Anbauflächen als „Begleitflora“ etabliert (Baranyai & Joosten 2016). Sonnentau wird derzeit als Arzneipflanze zur Herstellung von etwa 200 – 300 registrierten Arzneimitteln, hauptsächlich Phytopharmaka und Homöopathika, in Europa verwendet (MacKinnon 2009). Der Hauptanwendungsbereich liegt in der Therapie von Atemwegserkrankungen (Babula et al. 2009). Er weist ein gutes Potential zur wirtschaftlichen Nutzung auf. Der Rohstoff (ca. 50 – 160 t pro a) dafür stammt bisher fast ausschließlich aus Wildsammlungen in Finnland, Südafrika und Asien. 1 kg Rohmaterial aus Wildsammlung wird mit 164 – 1.000 EUR pro kg gehandelt (pers. Mitteilung B. Baranyai). Die PaludiMed GmbH (Mecklenburg-Vorpommern) ist das erste Unternehmen, das geringe Mengen Sonnentau aus Paludikultur handelt.

Die Produktivität von Sonnentau auf einer Torfmoos-Anbaufläche ist im Durchschnitt 3 – 40-mal höher als in natürlichen Mooren. Auch der Ertrag (214 kg je ha Frischmasse, nur blühende Pflanzen) ist im Gegensatz zu natürlichen Mooren höher. Der Anbau in Paludikultur bietet Abnehmern Beschaf-



Abb. 3.17: Sonnentau auf Torfmoosen auf der Torfmoos-Paludikulturfläche im Hankhauser Moor (s. Kapitel 7.2). Foto: S. Abel.

fungssicherheit und eine hohe Qualität der Ware. Um die bisher aus Wildsammlungen gehandelten Rohstoffmengen in Mitteleuropa aus Anbauflächen bereitzustellen, wäre der Sonnentau-Anbau auf einer Fläche von mind. 160 – 550 ha notwendig (Baranyai et al., eingereicht). Der Anbau von Sonnentau in Paludikultur ist unter den bestehenden Artenschutzbestimmungen möglich.

Rohrkolben-Pollen als Futter für Nützlinge im Gemüse-Anbau

Rohrkolben-Pollen hat sich in der Anwendung als Futter für Raubmilben bewährt, die im Gemüseanbau in Gewächshäusern als Nützling zur biologischen Schädlingsbekämpfung eingesetzt werden. Pollen-basiertes Futter wird dabei alle 2 Wochen mit 500 g je ha angewendet, um die Raubmilbenpopulation zu unterstützen während noch keine Schädlinge in den Kulturen aufgetreten sind (Pijnacker et al. 2015). Rohrkolbenpollen eignet sich hierfür, da er nicht von Bienen gesammelt wird und seinen Nährwert für mindestens zwei Wochen behält. Der Rohrkolben-Pollen wird bisher händisch in Rohrkolben-Beständen im Juni zur Blütezeit gesammelt, bisher jedoch nicht in Deutschland. Schätzungsweise beträgt der Pollenanteil max. 1 % der Gesamtbiomasse eines Bestandes. Die Pollen müssen nach der Ernte zügig getrocknet und eingefroren werden, um die notwendige Qualität zu behalten.

Nanostrukturiertes Silikat aus Schilfblättern für Akkus

In trockenen Schilfblättern ist viel mikro- und nanostrukturiertes Silikat enthalten. Dieses lässt sich aufreinigen, wobei die ursprüngliche Struktur auch bei der chemischen und physikalischen Behandlung beibehalten wird. So kann es mit vergleichsweise geringem Aufwand in hoch effizientes Anodenmaterial für Lithiumionenakkus umgewandelt werden. Nanoporöses Silizium als Anodenmaterial

3. Verwertung von Paludikultur-Biomasse

hat ein hohes Anwendungspotential, da es eine viel höhere theoretische Kapazität und geringere Arbeitsspannung hat als bisher verwendetes Anodenmaterial (Liu et al. 2015).

Es ist den Autorinnen nicht bekannt, ob diese Forschungsergebnisse bisher in die Praxis umgesetzt wurden.

Phytomining

Pflanzen nehmen aus dem Boden verschiedene Elemente auf, u.a. Silikat, sowie Germanium und andere seltene Erden. In Rohrglanzgras konzentriert sich Germanium mit 3 mg pro kg Biomasse. Germanium (und andere seltene Elemente) kann aus Gärresten oder Asche extrahiert werden, wenn die Biomasse zur Energieerzeugung genutzt wird. Unter optimalen Bedingungen wird derzeit eine maximale Phyto-Extraktion von 60 g je ha Germanium und 90 g je ha seltene Erden erwartet (Wiche et al. 2021), was einer Produktivität von 20 t TM je ha entspräche. Auf Moorstandorten ist die Produktivität jedoch geringer (bis zu 13 t TM je ha, siehe Box 2.1). Ab einer Konzentration des Germaniums von etwa 10 mg pro kg Biomasse wird von einer wirtschaftlichen Nutzbarkeit ausgegangen, bzw. einer geringeren Konzentration, wenn neben dem Germanium auch andere Elemente abgeschieden werden können³³. Germanium ist ein Halbmetall, das u.a. für die Herstellung von Smartphones, Infrarotsensoren und Glasfasern benötigt wird. Es wird auf dem Weltmarkt derzeit mit ca. 1.800 EUR je kg gehandelt. In Europa gibt es keine Lagerstätten, Germanium wird u.a. aus der Flugasche von Steinkohlekraftwerken gewonnen.

Beerenkulturen

Mögliche Beeren-liefernde Moor-Pflanzen sind Moosbeere (*Vaccinium oxycoccus*), Preiselbeere

(*Vaccinium vitis-idaea*), Apfelbeere (*Aronia melanocarpa*) sowie die nordamerikanischen Arten Kultur-Blaubeere (*Vaccinium angustifolium*, *V. corymbosum*) und Cranberry/Großfrüchtige Moosbeere (*Vaccinium macrocarpon*). Der Anbau auf organischen Böden ist aktuell mit Entwässerung und intensivem Wasserstandsmanagement verbunden, wodurch hohe Torfmineralisationsraten zu erwarten sind. Cranberries werden in den Niederlanden auch in einem wiedervernässten Hochmoorgrünland kultiviert³⁴ - wissenschaftliche Begleituntersuchungen zum Wasserstand und THG-Emissionen laufen derzeit.

3.2 Von der Fläche zum Produkt: welche Verwertung ist die Richtige?

Die flächenbezogenen Vorbetrachtungen zur Auswahl und Einrichtung einer Paludikultur werden in Kapitel 4 ausgeführt. Für die Wahl des Verwertungsweges und der Paludikultur spielt die (regionale) Rohstoffnachfrage eine entscheidende Rolle. Dafür ist eine individuelle Analyse der regionalen Absatzmöglichkeiten für die erzeugte Biomasse notwendig. Folgende Fragen sollten dabei adressiert werden:

- Gibt es bestehende Verarbeitungskapazitäten, die den Rohstoff verwerten können bzw. würden? (im eigenen Betrieb? In der Region?) Oder gibt es bestehende Verarbeitungsstrukturen, die auf Paludikultur-Biomasse umstellen könnten/würden?
- Welche Anforderungen an den Rohstoff bestehen und können diese erfüllt werden (Qualität/Menge/Preis)?
- In welcher Form ist der Rohstoff bereit zu stellen – als Ballen, Bunde, Häcksel, siliert?
- Muss er ggf. aufbereitet, vorkonditioniert werden, wenn ja, in welcher Form (z.B. als Pellets)?

³³ <https://www.nationalgeographic.de/wissenschaft/2018/05/pflanzlicher-kumpel>

³⁴ <https://www.thecranberrycompany.nl>

- Kann die Aufbereitung im landwirtschaftlichen Betrieb erfolgen?
- Wo und wie erfolgt die Lagerung und ggf. Trocknung?

Die Analyse zur Materialeignung kann in einem ersten Schritt über gängige Futterwertanalysen erfolgen. Z.T. haben die verarbeitenden Unternehmen eigene Labore bzw. führen Vorversuche mit kleinen Probemengen durch.

Neben vorhandenen regionalen Abnehmern kann es eine Möglichkeit sein, dass (wirtschaftliche) Akteure in den Aufbau neuer Verwertungs- und Vermarktungsstrukturen investieren. Dies können komplett neue Anlagen sein oder den Umbau vorhandener Anlagen, Verfahren und Strukturen umfassen, um Paludikultur-Biomasse in bestehende Verarbeitungen zu integrieren.

Da die Abnahmestrukturen oftmals noch neu und z.T. unbekannt sind, ist es hilfreich bzw. notwendig, dass Intermediäre bei dem Aufbau unterstützen. Das können z.B. regionale Transferzentren, Regionalentwicklungsgesellschaften, Wirtschaftsfördergesellschaften, die regionalen Industrie- und Handelskammern sein. Auch die Ämter für Wirtschaftsförderung, regionale Innovations-Bündnisse und praxisnahe Forschungseinrichtungen können dazu beitragen, geeignete Unternehmen für die (zukünftige) Rohstoffabnahme zu benennen, Kontakte zu vermitteln oder geeignete Investitionsförderungen zu vermitteln und bei Anträgen zu unterstützen (siehe dazu auch Kapitel 6). Kurzfristig, d.h. innerhalb der nächsten Jahre, spielen diese Intermediäre eine wichtige Rolle, solange Rohstoffe aus Paludikultur (noch) nicht in gängigen Verarbeitungsverfahren bzw. Produktionsbereichen bekannt und etabliert sind. Um das aktuelle „Henne-Ei-Problem“ zu überwinden – dass für Rohstoffe und Produkte aus Paludikultur gleichzeitig das Angebot und die Nachfrage geschaffen werden muss – erscheinen Kooperationen von landwirtschaftlichen Betrieben sinnvoll, mittels de-

rer der Flächenumfang für die Rohstoffherzeugung und die Bewirtschaftungskapazitäten gesteigert werden können (DVL 2022). Kooperationen entlang der Wertschöpfungskette können den landwirtschaftlichen Betrieb als Rohstoffproduzenten, das verarbeitende Unternehmen und/oder das vermarktende Unternehmen, welches das Endprodukt nutzt bzw. vermarktet, umfassen. Diese Kooperationen ermöglichen einen transdisziplinären Wissens- und Erfahrungsaufbau, der von dem Einfluss der Flächenbewirtschaftung bis hin zu den Eigenschaften des Endproduktes reicht und eine enge Rückkopplung aller Beteiligten ermöglicht. Zu den besonderen Eigenschaften des (End-)Produktes aus Paludikultur zählt die Klimaschutzleistung durch die Reduktion der bodenbürtigen CO₂-Emissionen, die ebenfalls mit vermarktet werden könnten.

Die aktuell erzielbaren Erlöse für Rohstoffe aus Paludikultur sind in Tabelle 3.10 aufgelistet. Diese liegen zurzeit noch oft unter dem, was Landwirt*innen mit herkömmlichen landwirtschaftlichen Erzeugnissen erwirtschaften können. Die Rohstoffherzeugung bzw. Biomasseverarbeitung kann über weitere Finanzierung unterstützt werden. Dazu zählen Programme der Bundesländer im Rahmen der 2. Säule der GAP zur Honorierung der ökologischen Leistungen von Paludikultur bzw. hoher Stauhaltung in landwirtschaftlich genutzten Mooren sowie Investitionsförderung – sowohl für die Etablierung von Paludikulturen, Anschaffung angepasster Bewirtschaftungstechnik und/oder Anlagen für die Verarbeitung des Rohstoffes (siehe Kapitel 6).

	Ertrag je ha	Rohstoffpreis	Erlös je ha und Jahr
Etablierte Märkte für Paludikultur-Biomasse beziehungsweise vergleichbare Produkte			
Schilf ¹			
- Dachschilf	Ø 500 Bunde	450 EUR je t	Ø 1.000 EUR
- Ausputz/schlechtere Qualität		30 EUR je t	
- Schilfdämmplatten/Putzträger		~ 450 EUR je t	
Erle ²			
- Stammholz	2,7 – 3,2 Vfm	46 – 54 EUR je Efm	61 – 195 EUR je ha
- Industrie-/Brennholz	3,2 Vfm	40 EUR je Efm	86 – 122 EUR je ha
Torfmoos ³			
- als Weißtorfersatz in Kultursubstraten	~ 50 bis 200 m ³ je	25 EUR je m ³	1.250 – 5.000 EUR
- für Orchideenkultur	Jahr	165 EUR je m ³	8.250 – 33.000 EUR
- als Saatgut		750 EUR je m ³	37.500 – 150.000 EUR
Sonnentau – medizinale Anwendungen			
- Wildsammlung ⁴	0,3 kg FM	160 – 1.000 EUR je kg FM,	48 – 300 EUR
- Urtinktur (10 L aus 1 kg Rohmaterial) ⁴		265 EUR je L	795 EUR
- aus Sphagnum farming ⁵	23 – 405 kg FM	160 – 1.000 EUR je kg FM	3.680 – 405.000 EUR
Brennstoff für Heizwerk			
- Nasswiesenheu	2 – 4 t TM	50 – 70 EUR je t	100 – 280 EUR
- Stroh (Vergleich)		80 – 100 EUR je t	
(Co-)Substrat für Biogasanlagen			
- Nassvergärung ¹	3 – 8 t TM	10 – 35 EUR je t FM	Ø 100/max. 600 EUR
- Feststoffvergärung	3 – 8 t TM	k.A.	
Einstreu			
- für Sauenhaltung	3 – 8 t TM	< 65 EUR je t	max. 195 – 520 EUR
- Stroh (Opportunitätskosten)		80 – 100 EUR je /t	
- Strohpellets (Pferde, Geflügel etc.)		rd. 0,3 EUR je kg	
Raufutter aus Feucht/Nassgrünland			
- Pferdeheu	3 – 8 t TM	100 – 130 EUR	300 – 1040 EUR
Wasserbüffel ⁶ (Vollweidesystem)	0,6 – 1,2 GV		
- Fleisch		6 – 13 EUR je kg	500 – 2.000 EUR
- Zuchttiere/Herdenaufbau		2.000 – 2.500 EUR je Tier	580 – 1.000 EUR
Robustrinder ⁷	0,8 – 1,5 GV		1.079 – 1.214 EUR
Verwertungen aus Pilot-/Testanwendungen, Prototypen und Verfahren in die Paludikultur-Biomasse potentiell eingespeist werden kann⁸			
Rohrkolben-Dämmplatte ⁹	10 – 25 t	150 – 300 EUR je t	1.500 – 4.500 EUR
Rohrkolben-Einblasdämmung ¹⁰	10 – 25 t	k.A.	
Rohrkolben-Pollen ¹¹	3 – 8 kg	100 – 400 EUR je kg	300 – 3.200 EUR
Rohrkolben, Schilf, Nasswiesenbiomasse: Einweggeschirr ¹²	5 – 25 t	~50 EUR je t	250 – 1.250 EUR
Nassgrünland: Dämmmaterialien aus Gras ¹³	3 – 8 t	gering	
Nassgrünland, Schilf: Papier aus Gras ¹⁴	3 – 15 t	~ 80 – 150 EUR je t	240 – 2.250 EUR
Nassgrünland: (voraufbereitete) Fasern für Verpackungsmaterial ¹⁵	3 – 8 t	~ 150 – 210 EUR je t	450 – 1.680 EUR
Nassgrünland: Plattformchemikalien für Biokunststoffe ¹⁶	3 – 8 t	~ 80 – 150 EUR je t	240 – 1.200 EUR
Nassgrünland: Proteinkonzentrat als Futter ¹⁷	bis zu 2,2 t TM	k.A.	
Nassgrünland: Biokohle/Aktivkohle	3 – 8 t	k.A.	

Tab. 3.10: Erzielbare Erlöse für Biomasse aus Paludikultur pro Hektar in etablierten Verwertungswegen und Verwertungswege mit ähnlichen Rohstoffen, die mit Paludikultur-Biomasse vergleichbar sind sowie Test- und Pilotanwendungen der Verarbeitung von Paludikultur-Biomasse (verändert nach Wichmann et al. 2022a, auf Basis der genannten Originalquellen. Z.T. ergeben sich derzeit (Sommer 2022) andere Werte, u.a. durch Transportschwierigkeiten von Importprodukten, gestiegenen Energiekosten).

- 1 Wichmann 2017;
- 2 von Finkenstein & Gerst 2013;
- 3 Wichmann et al. 2020;
- 4 pers. Mitteilung B. Baranyai: Preise für Drosera aus Wildsammlung 2019 in Finnland: 164 EUR je kg, Preise sonst abhängig von Qualität und Herkunft zwischen 250 – 1.000 EUR je kg;
- 5 Baranyai et al., eingereicht;
- 6 Sweers & Müller 2016;
- 7 Birr et al. 2021, basierend auf Pfister & Oppermann (2021);
- 8 Rohstoffpreise entsprechen genannten Zahlungsbereitschaften bzw. Aussagen potentieller Abnehmer;
- 9 pers. Mitteilung S. Lamprecht, H.-J. Bullinger 2018;
- 10 Geurts & Fritz 2018;
- 11 pers. Mitteilung A. van Weeren 2018, C. Fritz 2022, M. Wenzel 2022;
- 12 pers. Mitteilung J. Reich 2019;
- 13 aktuell Verwertung von Landschaftspflegematerial;
- 14 pers. Mitteilung M. Croheck 2020; Köbbing 2016;
- 15 Rohstoffpreis orientiert sich am Altpapierpreis;
- 16 Preis etwa orientiert am Heupreis;
- 17 Nielsen et al. (2021)

4. Standörtliche Eignungskriterien

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über standortsbezogene Eignungskriterien für Paludikulturflächen, Erfolgsfaktoren und Ansprüche der Paludikulturen an den Standort. Ziel ist es, herauszufinden, ob eine Fläche für die Umsetzung von Paludikultur geeignet ist, welche Kulturen für den Standort in Frage kommen, welche Flächen ggf. vorzuziehen sind und wie die Umsetzung erfolgreich sein kann. Letzteres hängt **gleichermaßen** von den rechtlichen Vorgaben, den standörtlichen Gegebenheiten, als auch vom bewirtschaftenden Betrieb und der Verwertung ab (siehe dazu Kapitel 2 und 3). In diesem Kapitel liegt der Fokus auf den Standorteigenschaften und -ansprüchen.

Für die Abschätzung der Eignung einer Fläche für eine Paludikultur sollten zuvor Ziele für die Umstellung auf Paludikultur definiert werden. Ziele können sein:

- Klimaschutz
- Produktion: Erzeugung von Rohstoffen
- Natur- und Artenschutzziele
- Seltener: Gewässerschutz, Klimaanpassung, Hochwasserschutz

Es gilt zu prüfen, inwieweit die Entwicklungsziele miteinander konkurrieren, ob es Synergien oder sogar Konflikte gibt. Dies gilt insbesondere auf Flächen, die einem Schutzstatus unterliegen oder wenn einzelne geschützte Arten oder Biotope bereits vor der Vernässung vorkommen (Närmann et al. 2021). Hier ist die Rohstoffgewinnung oftmals nur das untergeordnete Ziel bzw. naturschutzfachlich geboten, um eine bestimmte Vegetationsstruktur zu erzielen (Pflegerzeugung). Die Pflegerzeugung auf nassen oder wiedervernässten Mooren wird auch als Paludikultur begriffen, solange die Biomasse abgeschöpft und wirtschaftlich genutzt wird. Eine Orientierungshilfe für die naturschutzfachlichen Nutzungsrestriktionen bieten die Paludikultur-Kulissen der Bundesländer (aktuell vorliegend für Mecklenburg-Vorpommern in LM

M-V 2017a sowie Brandenburg, Niedersachsen, Baden-Württemberg und Schleswig-Holstein in Nerger & Zeitz 2021; Abb. 4.1).

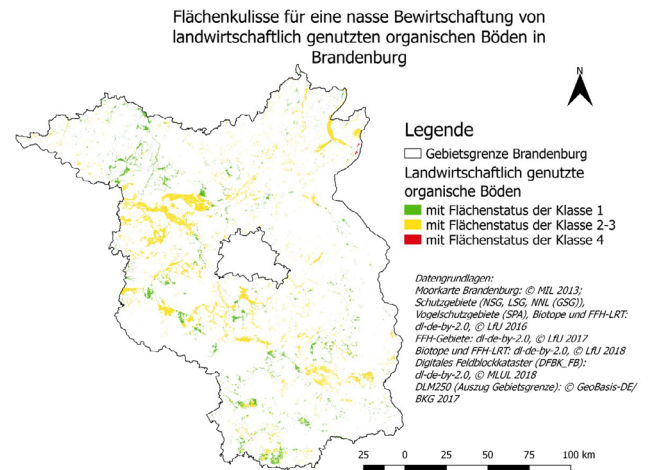


Abb. 4.1: Flächenkulisse mit landwirtschaftlichen genutzten organischen Böden mit Bewertung der Eignung für nasse Bewirtschaftung in Brandenburg. Aus Nerger & Zeitz 2021

Konkrete Flächenprüfungen können größtenteils durch die Vorhabenträger³⁵ selbst geschehen, für manche Fragestellungen ist bereits in einem frühen Stadium eine Beauftragung Dritter (z.B. Planungsbüro) sinnvoll. Als Quellen dienen neben den Befragungen von Akteuren vor allem Daten der öffentlich zugänglichen Geoinformationsdienste und ggf. der Agrardatenportale der Landesbehörden. Weitere Quellen sind Landesverordnungen sowie Planunterlagen der Gemeinden und Wasser- und Bodenverbände. Die zu nutzenden Quellen sind überwiegend länder- bzw. ortsspezifisch, die meisten jedoch bundesweit abrufbar (z.B. die Geodaten-Portale der Länder).

Wenn noch keine konkrete Fläche für die Umsetzung vorhanden ist, kann ein deduktiver Ansatz helfen, geeignete Flächen zu identifizieren. Dazu

³⁵ Vorhabenträger sind Akteure, welche die konkreten Maßnahmen umsetzen. Das können (landwirtschaftliche) Betriebe oder Zusammenschlüsse von Betrieben sein sowie andere wirtschaftlich tätige Unternehmen, Verbände (z.B. Wasser-Bodenverbände, Landschaftspflegeverbände, Naturschutz- sowie Umweltverbände etc.), Gebietskörperschaften, Vereine, Stiftungen, Forschungseinrichtungen und weitere.

können die bereits vorhandenen Flächenkulissen für Paludikultur (LM M-V 2017a; Nerger & Zeitz 2021) genutzt werden und weitere Eignungskriterien aus Kapitel 4.1 angewendet werden, um die realen Umsetzungspotentiale auf konkreten Moorflächen weiter einzugrenzen.

Weitere Informationen und nützliche Tools:

- Schlattmann & Rode (2019): The spatial potential for paludiculture: an analytical tool.
- DSS Torbos: Ein Entscheidungsunterstützungssystem zur torfschonenden Bewirtschaftung organischer Böden (Niedermoore). Siehe auch Schulze et al. (2016)
- Tiemeyer et al. (2017): Moorschutz in Deutschland. BfN-Skript 462.
- Nerger & Zeitz (2021): Flächenkulisse. In: Narmann et al. (Hrsg., 2021): Klimaschonende, biodiversitätsfördernde Bewirtschaftung von Niedermoorböden. BfN-Skript 616.

4.1 Standörtliche Voraussetzungen

Die Voraussetzungen für die Einrichtung von Paludikulturflächen lassen sich drei Kategorien zuordnen: Standorteigenschaften, Verfügbarkeit der Flächen und fachliche Eignung (nach Schröder et al. 2019). Diese Voraussetzungen sollten alle erfüllt werden.

Standort-
eigenschaften

Flächen-
verfügbarkeit

Fachliche
Eignung

4.1.1 Standorteigenschaften

Organischer Boden: Voraussetzung für die Einrichtung einer Paludikultur ist, dass es sich bei der betrachteten Fläche ganz oder zumindest größtenteils um einen Moor- oder Moorfolgeboden (organischer Boden) handelt. Bodenkundlich sind

Moore durch das Vorhandensein von Torf definiert, mit mind. 30 cm Mächtigkeit. Bei geringerer Torfaufgabe und/oder einem organischen Gehalt von 15 – 30 % spricht man von einem Anmoor. Durch die entwässerungsbasierte Nutzung haben flachgründige Moorböden ihre Torfaufgabe ganz oder teilweise verloren und werden dann als Moorfolgeböden angesprochen. Verwertbare Kartierungen der Bodentypen liegen in den meisten Regionen vor und können bei den Landesämtern abgefragt werden.

Moortyp: das Wissen über den hydrogenetischen Moortyp kann zur Einschätzung der Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit genutzt werden, denn er spiegelt bestimmte Standorteigenschaften wieder (Tab. 4.1). Dies kann auch als Kriterium zur Bewertung der Vernässbarkeit genutzt werden, denn es ermöglicht Rückschlüsse auf die ehemalige Wasserspeisung. Informationen zum Moortyp können auch bei den Umweltämtern abgefragt werden (z.B. Moorübersichtkartierung M-V, Quelle: LUNG M-V, BÜK 50 in Niedersachsen).

Vernässbarkeit: Die Moorflächen können entweder **bereits nass sein oder aber eine Wasserstandsanhhebung** muss grundsätzlich möglich sein. Für Paludikultur müssen torferhaltende Wasserstände (Tab. 1.2) angestrebt werden. Ob die Wasserstandsanhhebung möglich ist, wird im Zuge der Planung geklärt, dafür werden die Indikatoren Wasserdargebot (Klimatische Wasserbilanz, Gesamtabfluss), Wasserbedarf, Nährstoffversorgung, Geländemodell (Relief) und Entwässerungssystem genutzt, um die Machbarkeit zu überprüfen (Schlattmann & Rode 2019, Haberl et al. 2016). Eine hydrologische Potentialanalyse oder Machbarkeitsstudie sollte dafür bei einem Planungsbüro beauftragt werden. Hier kann weiter geprüft werden, ob und mit welchen Maßnahmen die Zielwasserstände erreicht werden können.

4. Standörtliche Eignungskriterien

Falls das Erreichen torferhaltender Wasserstände für eine Zielfläche nicht möglich sein sollte, müssen diese Gründe analysiert werden. Können beispielsweise Maßnahmen im Einzugsgebiet helfen, mehr Wasser zur Verfügung zu stellen? Gibt es weitere Zuwässerungsoptionen? In jedem Falle sollte der maximal erreichbare Höchst-Sommerwasserstand angestrebt werden. Eine Heranführung von Fremdwasser oder die Errichtung von Speicherbecken sollte nicht ausgeschlossen werden. Eine zusätzliche aktive Zufuhr von Oberflächenwasser, z.B. aus größeren Vorflutern ist ggf. notwendig, um auch im Sommer gleichmäßig hohe Wasserstände zu erreichen und aufrechtzuerhalten (Wichtmann & Schröder 2016). Falls keine Zuwässerung im Sommer möglich ist, kann neben einer weitestgehenden Vermeidung von Abflüssen das Wasserdefizit im Sommer nur durch Zurückhaltung der Winterniederschläge durch einen flächigen Überstau von mind. 30 cm im ausgehenden Winter erreicht werden. Um sommerliche Mindestwasserstände flächendeckend zu erreichen

sind ggf. Staukaskaden erforderlich. Ein alleiniger Überstau der tiefsten Bereiche einer Niederung ist nicht ausreichend, auch die höher gelegenen Talränder, bzw. Ränder der Niederung müssen in den Wasserrückhalt durch Überstau einbezogen werden. Dies macht die Umsetzung von Paludikultur in Luchlandschaften sehr anspruchsvoll. Mögliche Varianten der technischen Umsetzung der Wasserstandshebung werden in Kapitel 2.2 beschrieben. Eine weitere Möglichkeit ist die Einrichtung von Wasserreservoirs als Pufferspeicher, über die die erhöhten Wasserbedarfe im Sommer ausgeglichen werden können.

4.1.2 Verfügbarkeit der Flächen

Die Umsetzung von Paludikultur inklusive Wiedervernässung kann nach aktueller Auffassung einen Eingriff in das Eigentumsrecht der Flächeneigentümer*innen darstellen. Dies ist der überholten Annahme geschuldet, dass nur entwässerte Moore nutzbar sind und einen Ertrag abwerfen. Ob es sich

Tab. 4.1: Eignung unterschiedlicher hydrogenetischer Moortypen für Paludikultur (verändert nach Haberl et al. 2016).
+++ = sehr gut, ++ = gut, + = mäßig, ~ = bedingt, - = nicht geeignet bzw. hoher technische Aufwand erforderlich.

Hydrogenetischer Moortyp	Verlandungsmoor	Versumpfungsmoor	Kesselmoor	Überflutungsmoor	Regenmoor (Hochmoor)	Durchströmungsmoor	Hang-/Quellmoor
Wasserversorgung (vor der Entwässerung)	(meist) kontinuierlich	gering	periodisch/kontinuierlich	periodisch	meist kontinuierlich	kontinuierlich	kontinuierlich
Hangneigung	keine	keine	keine	keine/mäßig	mäßig (randlich)	stark	mäßig – extrem
Interner Wasserspeicher im intakten Zustand	meist groß	mäßig	mäßig–groß	klein	groß	groß	klein
Vernässbarkeit	+++	+++	++	+++	+++	+	~
Eignung für Paludikultur	++	++	-	++	+++	+	-

bei der Maßnahme tatsächlich um einen Eingriff handelt und einer Zustimmung bedarf, muss mit den Behörden geklärt werden. Zurzeit braucht es bei Anbau-Paludikulturen eine Zustimmung der Eigentümer*innen. Aus Sicht der Eigentümer*innen als Betroffene sollten verschiedenen Vorüberlegungen einbezogen werden (Abb. 4.2).

Komplizierte Eigentumsstrukturen stehen vielerorts einer Investition in die Infrastruktur einer Fläche entgegen. Wenn die Flächen im öffentlichen Eigentum bzw. im Eigentum des Umsetzenden nicht zusammenhängen oder eine Vielzahl von privaten Eigentümer*innen auf der Umsetzungsfläche liegen, kann dies die Umsetzung verzögern oder behindern. Die Bereitschaft für die Wiedervernässung lässt sich allerdings alleine an der Zahl der Eigentümer*innen nicht ablesen (Tiemeyer et al. 2017).

Neben den Eigentumsverhältnissen sind aktuelle Nutzungsrechte entscheidend. Die Interessen von Eigentümer*innen und Nutzer*innen können voneinander abweichen. Sind Eigentümer*innen bzw. Pachtende auf die aktuelle Bewirtschaftung angewiesen, wird eine Nutzungsänderung erschwert. Nehmen die Moorflächen im betroffenen landwirtschaftlichen Betrieb einen hohen Anteil an der bodengebundenen Wertschöpfung ein (ohne Berücksichtigung von Transferzahlungen) ist die Umsetzung von Paludikultur ggf. nicht möglich. Zu klären ist dann, ob die aktuelle Bewirtschaf-

tung auf den betrachteten Moorflächen ggf. innerbetrieblich oder regional ausweichen kann oder eine Betriebsumstellung absehbar ist. Je nach Flächendruck ist die Chance, dass der Betrieb durch Intensivierung oder Pacht ausweichen kann, regional sehr unterschiedlich. Flächendruck entsteht auch durch Güllennachweisflächen, langfristige Lieferverträge z.B. mit Biogasanlagen oder langfristige Investitionen und Kredite z.B. für einen Milchviehstall, die jeweils an die bestehende entwässerungsbasierte Bewirtschaftung gekoppelt sind.

Sind die Interessen nicht zusammen zu bringen, besteht weiter die Möglichkeit, einen Flächenverkauf oder -tausch oder einen Pächterwechsel/-tausch anzubieten. Tauschoptionen für Pächter*innen und Eigentümer*innen hängen dabei stark von regional verfügbaren gleichwertigen oder höherwertigen Ersatzflächen und dem regionalen Flächendruck ab (Tiemeyer et al. 2017), vergleiche auch Kapitel 2.1. Falls dies aufgrund der Flächengröße und/oder Anzahl der Eigentümer*innen nicht vom Vorhabenträger selbst gemacht werden kann, muss ein Flurneuordnungsverfahren angestrebt werden. Auch können Rahmenverträge zwischen den Nutzer*innen und dem Vorhabenträger helfen, eine Zustimmung zu ermöglichen, z.B. durch konkrete Regelungen des Schadensausgleich bei projektbedingten Nässeschäden auf Privatflächen (siehe Praxis-Beispiel Kapitel 7.3).

4. Standörtliche Eignungskriterien



Abb. 4.2: Vorüberlegungen bei der Umsetzung von Wiedervernässung und Paludikultur aus Sicht der Eigentümer*innen als Betroffene oder wenn sie selbst Initiatoren sind.

4.1.3 Rechtliche Voraussetzungen

Aus dem Naturschutz- und Agrarrecht und anderen Rechtsbereichen ergeben sich einige Rahmenbedingungen, die die Eignung einer Fläche bzw. die Möglichkeiten der Nutzung einschränken. Generell gilt: Ein Projekt ist umso besser umsetzbar, je weniger Restriktionen vorliegen.

Zunächst muss auf der Fläche eine **landwirtschaftliche Nutzung formal möglich** sein. Das ist in der Regel der Fall, wenn die Fläche bereits bisher landwirtschaftlich genutzt wurde (Feldblock vorhanden) oder wenn sie sich in einem Vorrang- oder Vorbehaltsgebiet für Landwirtschaft befindet (Feldblock kann eingerichtet werden). Hierfür muss die angestrebte Paludikultur als Landwirtschaft anerkannt sein, im Rahmen der GAP wurden hier ab 2023 neue Möglichkeiten eingeräumt. Details zu der Anerkennung von Paludikultur ab 2023 finden sich in Kapitel 6. Hiervon hängt auch die Möglichkeit der Beantragung von Agrarförderung ab.

Die Wahl der angestrebten Paludikultur darf nicht im Widerspruch mit bereits formulierten und rechtlich verbindlichen naturschutzfachlichen Interessen stehen. Zum Beispiel ist eine Umsetzung von Paludikultur in Kernzonen von Schutzgebieten nach Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) oder Landes-Naturschutzgesetzen und die Beeinträchtigung von gesetzlich geschützten Biotopen verboten (§23 Abs. 2 BNatSchG, § 33 Abs. 1 BNatSchG, §30 Abs. 2 BNatSchG, Art. 6 Abs. 2 FFH-RL). Die Umstellung kann der Nutzung auf Nasswiesen-Paludikultur jedoch zu einer Verbesserung des Schutzgutes beitragen, während eine Anbau-Paludikultur ausgeschlossen wird. Eine Orientierung bieten hier die Paludikultur-Kulissen der Bundesländer Mecklenburg-Vorpommern (LM M-V 2017a), Brandenburg, Schleswig-Holstein und Baden-Württemberg (Nerger & Zeitz 2021), darüber hinaus sind Kernzonen von Schutzgebieten und das Vorkom-

men von Biotopen auch über die Informationsdienste der Länder abrufbar.

Dort wo sich infolge der Entwässerung geschützte Arten angesiedelt haben, müssen unter Umständen Ersatzlebensräume in unmittelbarer Nähe zum Eingriffsort geschaffen werden. Dies lässt sich durch naturschutzfachliche Gutachten und in Zusammenarbeit mit der verantwortlichen unteren Naturschutzbehörde klären. Es gibt bereits Beispiele, bei denen überzeugend dargestellt werden konnte, dass durch Wiedervernässung und Paludikultur eine Aufwertung der Fläche erfolgt und dann auf einen Eingriffsausgleich verzichtet werden konnte. Die Umsetzung von möglichen Auflagen kann kostspielig sein, gleichzeitig bietet das Vorkommen bestimmter Arten oder Lebensräume auch potentielle Synergieeffekte, die sich für die Finanzierung des Projekts nutzen lassen. Das Verhältnis von Klimaschutz- zu Naturschutzzielen ist bei Paludikultur-Projekten oft ambivalent: es kann sowohl synergetisch als auch konfliktgeladen sein (siehe auch Kapitel 1.3.3; Kapitel 5). Grundsätzlich gilt jedoch, dass auf tiefentwässerten und bewirtschafteten Mooren durch eine Wasserstandsanhhebung und den Wechsel zu Paludikultur eine Verbesserung für moortypische Arten zu erwarten ist und daher im Sinne des Biodiversitätsschutzes der Wechsel in den meisten Fällen zu befürworten ist (z.B. für Niedermoore: Närmann et al. 2021).

Liegen **geschützte Besonderheiten**, wie z.B. Kulturdenkmäler oder archäologische Stätten im Projektgebiet vor, sind Stellungnahmen der Fachbehörden einzuholen und ggf. externe Gutachten erforderlich.

Inkompatible oder konkurrierende Infrastruktur oder Flächennutzung von öffentlichem Belang, wie z.B. unterirdische Leitungen, Oberleitungen, Bahndämme, öffentliche Straßen, können durch die Wasserstandsanhörungen beeinträchtigt werden. Hier müssen ggf. technische Lösun-

4. Standörtliche Eignungskriterien

gen zur Vereinbarkeit in Betracht gezogen werden, oder aber die Fläche eignet sich vorerst nicht (im Ganzen) für eine Etablierung von Paludikultur. Dies kann in Zusammenarbeit mit den zuständigen Behörden und spezialisierten Planungsbüros geklärt werden. In § 35 Abs. 3 Baugesetzbuch werden öffentliche Belange, die baulichen Maßnahmen für ein Paludikultur-Vorhaben im Außenbereich entgegenstehen können, in einer nicht abschließenden Liste aufgezählt (Schäfer & Ylmaz 2019).

Die Flächen sollten möglichst formal/rechtlich ohne Einschränkungen verfügbar sein, d.h. dass es **keine festgelegten Planungen oder Zielstellungen gibt, die nicht mit Wasserstandsanhhebung und Paludikultur vereinbar sind**. Es sollten zum Beispiel möglichst keine Vorranggebiete der Raumordnung vorliegen, deren Ziele einer Anhebung der Wasserstände oder einer landwirtschaftlichen Nutzung widersprechen, dies könnte z.B. bei Vorranggebieten für Rohstoffgewinnung der Fall sein (Tiemeyer et al. 2017). Außerdem können Flächenfestsetzungen von Gemeinden (z.B. Flächennutzungsplan, Bebauungsplan) mit der Einrichtung einer Paludikultur konkurrieren (Schäfer & Ylmaz 2019). Allerdings können solche Planungen und Festlegungen auch zugunsten der „Paludikulturfähigkeit“ des Standortes geändert werden. Dies kann bei einem Vortreffen mit den zuständigen Behörden (siehe Kapitel 5) erörtert werden.

Für **Anbau-Paludikulturen** gilt zusätzlich, dass mögliche **rechtliche Ausschlusskriterien für die Einrichtung und Bewirtschaftung der Flächen** beachtet und ggf. eine Genehmigung beantragt werden muss. Z.B. ist der für die Einrichtung einer Anbau-Paludikultur auf bisher als Grünland bewirtschafteten Flächen meist notwendige initiale Umbruch bzw. Oberbodenabtrag grundsätzlich genehmigungspflichtig und in Natura 2000-Gebieten verboten (Czybulka & Kölsch 2016, LM M-V 2017b, sowie für die Situation in M-V: Schäfer & Ylmaz 2019), ausführlich dazu siehe Kapitel 5: Abschnitt

zu Grünlanderhalt. Praxisbeispiele zeigen, dass Ausnahmen möglich sind (da Umbruch für Anlage einer Dauerkultur erfolgt, siehe Kapitel 7.1).

Ein weiteres Beispiel ist die Beschränkung der Rohrmahd. Hier ist bspw. in M-V eine Ausnahmegenehmigung vom gesetzlichen Biotopschutz (§ 20 NatSchAG M-V) notwendig. Eine Überarbeitung der sog. „Rohrmahdrichtlinie“ in M-V wird aktuell diskutiert. So könnten Schilfbestände, die auf Feldblöcken angepflanzt oder gezielt etabliert wurden, von Einschränkungen und dem gesetzlichen Biotopschutz ausgenommen werden. Es kann weiterhin bundeslandspezifische Bestimmungen geben, so z.B. die „Richtlinie zur Mahd von Schilfrohr in Röhrichten“ und die Pflicht zur Verbandsbeteiligung (GMC 2019). Genehmigungen werden bisher meist nur für wenige Jahre erteilt. Dies kann auch künstlich geschaffene Schilfbestände und eventuell auch andere Röhrichtbestände betreffen (Czybulka & Kölsch 2016) und ist vor der Einrichtung von Paludikulturen mit den zuständigen Behörden zu klären.

4.2 Erfolgsfaktoren

Wenn die grundlegenden Voraussetzungen erfüllt sind, sollten weitere weniger verbindliche, aber wünschenswerte Eigenschaften der Flächen betrachtet werden. Sie weisen auf Möglichkeiten für bestimmte Schwerpunktsetzungen oder Synergieeffekte eines Projekts hin. Die folgende Reihenfolge stellt keine Priorisierung dar, diese hängt vor allem von den individuellen Projektzielen ab.

Besonders vorteilhaft für die Umsetzung, sind Flächen auf denen eine **Anhebung der Wasserstände mit geringem technischem und finanziellem Aufwand** möglich ist. Dies ist der Fall, wenn:

- die Fläche bereits hydrologisch abgegrenzt ist, z.B. durch Polderung (Eindeichung),

- der Polder oder eine Senke niedriger als ihre Umgebung liegt,
- die Projektfläche identisch mit dem Einzugsgebiet eines Grabens oder Schöpfwerks ist,
- keine Nachbarflächen anderer Eigentümer*innen beeinflusst werden,
- ausreichend Wasser zur Vernässung das ganze Jahr über verfügbar ist.

Außerdem sollte die Möglichkeit zu **aktiver Wasserregulation** vorhanden oder umsetzbar sein. Optimale Wasserstände für Paludikultur sind oft mit einmaligen Maßnahmen kaum realisierbar. Eine aktive Steuerung der Wasserstände oder eine zusätzliche aktive Zufuhr von Oberflächenwasser im Sommer sind oft notwendig (Wichtmann & Schröder 2016), für manche Paludikulturen sogar unabdingbar (z.B. Torfmooskultivierung). In Kapitel 2.2 werden die notwendigen Maßnahmen zur Flächeneinrichtung, Infrastruktur, Management und Technik für verschiedene Paludikulturen beschrieben.

Eine **günstige Flächengröße** und die **logistische Infrastruktur** für Bewirtschaftung und Verwertung sind wichtig für den betriebswirtschaftlichen Erfolg der Paludikultur. Welche Größe geeignet ist, hängt vor allem von der individuellen betrieblichen Situation (maschinelle Ausstattung, Arbeitskräfte, Flächenkulisse, bisherige Betriebszweige), der notwendigen Ernte-, Transport- und Lagerlogistik und den regional vorhandenen Verwertungsstrukturen bzw. überregionalen Abnehmerpotentialen ab. Kooperationen (z.B. Maschinenringe, Erzeugergemeinschaften, Verwertungs Kooperationen, Betriebszusammenschlüsse – wie im Beispiel Biomoos GbR siehe Kapitel 7.3) können einen positiven Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit haben (DVL & GMC 2022). Für die meisten Paludikulturen gilt, dass eine Teilfläche mindestens ~ 10 ha groß sein sollte, um wirtschaftlich darstellbar zu sein. In den meisten Fällen sind die Flächenansprüche allerdings viel größer, damit ausreichend Biomasse

für eine geeignete Verwertungskette produziert werden kann (Ausnahmen sind Sonderkulturen wie z.B. Sonnentau). Die logistische Infrastruktur spielt eine wichtige Rolle für die bodenschonende und effektive Flächenbewirtschaftung. Vorhandene Zufahrtswege, (ggf. erhöhte) Fahrdämme und Grabenquerungen in der Fläche, Biomasse-Umschlagplätze am Flächenrand, Lager- und (überdachte) Trocknungskapazitäten begünstigen die Umsetzung (siehe Kapitel 2.2).

Oftmals gilt, dass die Anfangsinvestitionen für die Maßnahmen zur Wasserstandsanehebung, für das Wassermanagement und für die Infrastruktur auf kleineren Flächen aufwendiger und kostspieliger (Kosten pro Hektar) sind, wenn umgebende Flächen weiterhin entwässert werden. Solche Insellösungen sind zwar kostspielig, jedoch oft die einzige Möglichkeit die Wasserstände anzuheben und gezielt auf die Ansprüche der Kultur einzustellen. In vielen Fällen ist aufgrund der erforderlichen Infrastruktur (Fahrdämme, hydrologische Unterteilung aufgrund der Höhenunterschiede), eine Unterteilung der Fläche sowieso erforderlich. Problematisch ist die hydrologische Unterteilung jedoch bei flachgründigen, sandunterlagerten Mooren. Hier ist zumindest eine Optimierung des regionalen Wasserspeichers im oberflächennahen Grundwasser erforderlich. Ein öffentliches Interesse an der Nutzung von Synergien mit Klimaschutzzielen oder auch Naturschutz- oder Gewässerschutzzielen kann hilfreich sein, damit auch aufwendige Vorhaben finanziert und zügig umgesetzt werden können.

4. Standörtliche Eignungskriterien

Synergien nutzen: Die Revitalisierung von weiteren Moorfunktionen und der Bereitstellung von Ökosystemdienstleistungen (siehe Kapitel 1.3.3) bieten Synergien mit der Umsetzung von Paludikulturen. Dazu zählen:

- Klimaschutzziele
- Gewässerschutz (Nährstoffrückhalt und Nährstoffentzug)
- Stabilisierung des Landschaftswasserhaushalts
- Lokal wirkende Verdunstungskühlung
- Hochwasserschutz
- Bildungs- und Erholungsfunktionen

Dadurch kann ein erhöhter gesellschaftlicher Nutzen generiert bzw. sichtbar gemacht werden. Perspektivisch besteht die Option, diese zusätzlichen Leistungen der Paludikultur zu bewerten und in Wert zu setzen, z.B. über Zertifikate.

4.3 Standortansprüche verschiedener Paludikulturen

Für eine Einschätzung, ob der Moorstandort für eine bestimmte Paludikultur geeignet ist, ist die Art der Wasserspeisung und die Qualität des Was-

sers zentral. Weiterhin hat der rezente Zustand des Standortes einen Einfluss. Auch das Wissen von der ursprünglichen Moorvegetation und den vormals natürlichen Standortbedingungen kann hilfreich sein für die Abschätzung der Entwicklung des Standortes nach Wiedervernässung sowie für die Definition von Leitbildern bei einer naturnahen Flächeneinrichtung und Nutzung der spontan wachsenden Aufwüchse als Nassgrünland. Siehe dazu z.B. Leitfaden der Hochmoorrenaturierung in Bayern (2002) oder Leitfaden der Niedermoorrenaturierung in Bayern (2005), siehe Einleitung Kapitel 2.

Naturnahe Moore haben natürlicherweise eine große Bandbreite an Standortbedingungen, welche mit Hilfe der ökologischen Moortypen eingeordnet werden können (Succow & Joosten 2001, Tab 4.2). Die rezente Vegetation kann dort als Zeiger für Nährstoffgehalt und pH-Wert des Standorts dienen. Der Nährstoffgehalt wird anhand des C/N-Wertes grob unterteilt in nährstoffarm (oligotroph, C/N 33 – 50), mäßig nährstoffarm (mesotroph, C/N: 20 – 33) und nährstoffreich (eutroph, C/N: 10 – 20). Der pH-Wert ermöglicht eine Unterteilung von sauren (pH < 4,8), basenreichen (subneutral, pH 4,8 – 6,4) und kalkhaltigen (pH > 6,4) Moorstandorten.

Tab. 4.2: Ökologische Moortypen Mitteleuropas nach Succow & Joosten (2001).

Ökolog. Moortyp	Trophie	pH	Natürliche Vegetation	Hydrogenetischer Moortyp
(Sauer-) Armmoor	oligotroph	sauer	Zwergstrauch-Wollgras-Torfmoosrasen	Hochmoor/Zwischenmoor
Sauer-Zwischenmoor	mesotroph	sauer	Torfmoos-Seggenriede	Hochmoor/Zwischenmoor/Niedermoor
Basen-Zwischenmoor	mesotroph	Schwach sauer	Braunmoos-Seggenriede	Niedermoor
Kalk-Zwischenmoor	mesotroph	alkalisch	Braunmoos-Kopfriedriede	Niedermoor
Reichmoor	eutroph	Sauer – alkalisch	Röhrichte, Großseggenriede, Erlenbrüche	Niedermoor

Durch Entwässerung, Landnutzung und insbesondere Düngung verändern sich die Standorteigenschaften stark. Bei Saatgrasländern kann die rezente Vegetation nicht mehr als Zeiger dienen. Die Art der Veränderung der Böden nach entwässerungsbasierter Nutzung ist abhängig vom Moortyp, der Nutzungsintensität und der Dauer der Entwässerung. Allgemein haben degradierte Moorböden ein stark verändertes Gefüge, wodurch die in natürlichen Mooren sehr große Wasserspeicherkapazität und Wasserdurchlässigkeit verringert ist (siehe dazu Kapitel 1.1.3 und 2.2). Auch der Nährstoffhaushalt ist durch Düngung, Kalkung und Torfmineralisierung stark verändert. Hochmoorstandorte, die vorher als intensives Hochmoorgrünland oder Acker genutzt wurden, weisen nach der Wiedervernässung Bedingungen auf, die nährstoffliebende Arten bevorzugen. Durch die regelmäßige Ernte treten auf allen Moorstandorten Aushagerungseffekte auf. Die Nährstoffversorgung aus der Mineralisierung der Torfe wird unterbrochen und die Nährstoffe werden überwiegend durch das Wasser nachgeliefert. Die Qualität des Wassers hat daher eine zentrale Rolle für das Nährstoffmanagement einer Fläche, siehe dazu Kapitel 2.2.3: Nährstoffmanagement. Langfristige Erfahrungen zur Ertragsicherung sind kaum vorhanden. Hier besteht noch Forschungsbedarf.

Paludikulturpflanzen können unter einer großen Bandbreite an abiotischen Bedingungen und Nährstoffgehalten wachsen, aber die höchste Produktivität wird unter nährstoffreichen Bedingungen und ausgeglichener Nährstoffversorgung erreicht. Dies gilt nicht, wenn bestimmte Rohstoffeigenschaften erzielt oder Arten, die an geringe Nährstoffversorgung angepasst sind, angebaut werden: zum Beispiel bestimmte Torfmoosarten, oder Schilf mit besonderer Eignung für Dachschilf. Bezüglich der Auswirkungen des Standorts auf die Qualitätsei-

genschaften der Biomasse gibt es bisher leider nur wenig vorliegende Erfahrungen (siehe Kapitel 2; Ren et al. 2020; Haldan et al. 2022). Die Standortansprüche der verschiedenen Paludikulturen werden, soweit eingrenzbar, in Tabelle 4.3 dargestellt.

Weiterführende Literatur und Quellen:

- Fachstrategie/Kulissen M-V: [Bericht Fachstrategie Paludikultur.pdf](#)
- Kulissen BB/S-H/BW: [Klimaschonende, biodiversitätsfördernde Bewirtschaftung von Niedermoorböden BfN Skript 616](#)
- Steckbriefe Paludikultur: https://www.moorwissen.de/doc/paludikultur/imdetail/steckbriefe_pflanzenarten/Steckbriefsammlung.pdf
- [Moorschutz in Deutschland - Optimierung des Moormanagements in Hinblick auf den Schutz der Biodiversität und der Ökosystemleistungen. BfN Skripten 462](#)

4. Standörtliche Eignungskriterien

Tab. 4.3: Standortansprüche für verschiedene Paludikulturen. Informationen zu den Niedermoor-Arten abgeleitet aus Birr et al. 2021 und bzgl. Torfmoos aus Gaudig et al. 2018.

* Für Dachschilf gibt es keine einheitlichen Standards. Die individuelle Qualitätseinschätzung (abhängig vom Standort) durch Rohrwerber beruht meist auf generationenübergreifenden Erfahrungen.

Paludikultur	Moortyp	Wasserstände und Wassermanagement	Nährstoffbedarf	Nährstoffnachlieferung Wasser	Anspruch an Flächenhomogenität (Relief, Neigung etc.)
Schilf	Niedermoor	dauerhafte Wasserstände in Flur, Leichter Salzwassereinfluss und Überstau wird toleriert	mittel-hoch*	Bedarf an Nährstoffnachlieferung abhängig von der Nutzung, bei Ernte im Winter gering	kleinräumige Standortunterschiede werden toleriert
Rohrkolben	nährstofffreie Niedermoore	dauerhafte hohe Wasserstände in oder über Flur, Salzwassereinfluss wird toleriert	(mittel-) hoch-sehr hoch	konstante Nachlieferung erforderlich	Flächen sollten homogen sein und das Wasser flächig über die Fläche fließen können
Nasswiese (Seggen)	Niedermoor	Wasserstände in oder knapp unter Flur, kurzzeitiger Überstau oder Absinken der Wasserstände unter Flur möglich	mittel	Bedarf an regelmäßiger Nachlieferung gering (mit Ertragseinbußen)	kleinräumige Standortunterschiede werden toleriert
Rohrglanzgras	basenreiche Niedermoore mit guter Nährstoffversorgung	wechselfeucht bis -nass, sauerstoffreiches Wasser; dauerhafter Überstau wird nicht toleriert	hoch	regelmäßige Nachlieferung von nährstoff- und sauerstoffreichem Wasser durch Überflutung notwendig	kleinräumige Standortunterschiede werden toleriert
Torfmoos	Hochmoor	Wasserstände immer gleichmäßig in Flur (mit dem Wachstum der Torfmoose ansteigend)	gering	natürliche Nachlieferung durch Regenwasser ist ausreichend	hohe Ansprüche, Flächen sollten einnivelliert sein; geringe Höhenunterschiede im Relief (ca. 20 cm) werden toleriert
Schwarzerle	basenreiche Niedermoore	feuchte bis sehr feuchte Standorte mit bewegtem Bodenwasser; empfindlich gegenüber langanhaltender Überflutung	hoch bis sehr hoch	regelmäßige Nachlieferung von basenreichem Wasser durch Überstau nötig	kleinräumige Standortunterschiede werden toleriert

5. Planung und Genehmigung

In diesem Kapitel werden die Genehmigungsverfahren und notwendigen Planungsschritte für die Einrichtung einer Paludikultur (Anbaukulturen und ggf. Nasswiesen/Nassweiden) genannt. Für die Abstimmung von Planung und Genehmigung sollte eine zentrale Koordination eingesetzt werden, wofür ausreichend personelle Kapazität vorhanden sein muss. Die Anforderungen für die behördliche Zulassung können in Abhängigkeit von den jeweiligen Vorhabensbestandteilen und dem baulichen Anpassungsbedarf sehr unterschiedlich sein. Die Anpassung wasserwirtschaftlicher Anlagen sowie die Inanspruchnahme von Wasserrechten, die Ertüchtigung oder Errichtung von Infrastruktur (Wege, Lagerflächen etc.), Nutzungsänderung sowie naturschutzfachliche Belange müssen überprüft werden und entsprechend der gesetzlichen Vorgaben geplant werden. Die Genehmigungspflicht ergibt sich aus den zu erwartenden Auswirkungen der Maßnahmen.

Wasserrecht

Für die Umsetzung von Paludikultur ist zumeist eine Anhebung des Wasserstands durch Wasserrückhalt und teilweise eine Zuwässerung aus der Vorflut notwendig. Dafür ist zu klären, ob ein Genehmigungsbedarf nach dem Wasserrecht vorliegt. Eine Genehmigung nach dem Wasserrecht ist immer erforderlich, wenn es zur Benutzung von Gewässern kommt (siehe § 6 WHG), dazu gehören u.a. nach § 9 WHG „...das Entnehmen und Ableiten von Wasser aus oberirdischen Gewässern, ... das Aufstauen und Absenken von oberirdischen Gewässern“. Desweiteren ist ein wasserrechtliches Verfahren zur Genehmigung erforderlich, sofern die Anhebung des Wasserstands Auswirkungen auf Schutzgüter³⁶ hat und/oder Eigentumsrechte von Dritten betroffen sind. In vielen Fällen sind verbindliche Stauvorgaben vorhanden. Zum Teil sind diese aufgrund der Höhenverluste bereits ausreichend für eine Anhebung der Wasserstände.

³⁶ Schutzgüter sind Tiere, Pflanzen und biologische Vielfalt, Menschen und insbesondere menschliche Gesundheit, Wasser, Boden und Fläche, Landschaft, Klima und Luft, kulturelles Erbe und sonstige Sachgüter

Sollte eine darüber hinausgehende Anhebung der Stauvorgaben erforderlich sein, kann diese durch eine befristete wasserrechtliche Erlaubnis erteilt werden. Sie kann bei Zustimmung der Eigentümer*innen und Nutzer*innen/Pächter*innen erteilt werden, sofern keine direkte Betroffenheit angrenzender Flächen oder Infrastruktur besteht. Sofern durch den Anstau in größeren Umfang landwirtschaftliche Flächen vernässt werden, ist davon auszugehen, dass das Vorhaben einer Plangenehmigung, bei umfassender Betroffenheit einer Planfeststellung bedarf. Das Genehmigungsverfahren wird von der zuständigen Behörde aufgenommen, wenn alle erforderlichen Unterlagen eingereicht wurden. Entscheidend sind vollständige, transparente Unterlagen, die die fachlichen und rechtlichen Anforderungen des Genehmigungsverfahrens erfüllen. Tabelle 5.1 gibt einen allgemeinen, nicht abschließenden Überblick über anzuwendende Genehmigungsverfahren. Die Art des Verfahrens ist immer mit der zuständigen Behörde abzustimmen. Zu Beginn eines Projektes sind daher:

1. Die Eigentümer*innen der betrachteten Fläche zu ermitteln und über die geplante Änderung des Flächenzustandes zu informieren. Ebenso sind die Nutzer*innen zu ermitteln und zu informieren.
2. Einen Auftakttermin mit der Wasserbehörde durchführen, um das geplante Vorhaben vorzustellen. Je nach Gewässerordnung ist die untere oder obere Wasserbehörde zuständig. Je nach eingeschätztem Umfang, Auswirkungen und Betroffenheiten des Vorhabens bestimmt die Behörde, in welchem Umfang Planungsunterlagen und Gutachten vorzulegen sind. Das können zusätzlich z.B. rtenschutzrechtliche Gutachten, FFH-(Vor-) Verträglichkeitsprüfungen sein, je nachdem ob Auswirkungen auf Schutzgüter erwartet werden. Auch der zuständige Wasser- und Bodenverband / Unterhaltungsverband sollte frühzeitig einbezogen werden.

Tab. 5.1: Übersicht über wasserrechtliche Genehmigungsverfahren, Voraussetzungen und notwendige Unterlagen.

Verfahren	Erforderlich wenn	geforderte Unterlagen	Anmerkungen
Kein Verfahren erforderlich bzw. naturschutzfachliche Genehmigung ausreichend	<ul style="list-style-type: none"> Keine Eigentumsrechte Dritter betroffen, und/oder Einvernehmen mit Eigentümern liegt vor und/oder Gewässer sind nicht gewidmet / keine Gewässer der 1. und 2./3. Ordnung betroffen Projektgebiet liegt in einem Schutzgebiet 	<ul style="list-style-type: none"> schriftliche Zustimmung der Eigentümer mind. Entwurfs- und Genehmigungsplanung (LP 3+4) naturschutzfachliche Gutachten (Artenschutz, FFH-(Vor)Verträglichkeit) 	<ul style="list-style-type: none"> Naturschutzrechtliche und Aspekte der Raumplanung müssen separat geprüft werden (durch Behörde)
Wasserrechtliche Erlaubnis	<ul style="list-style-type: none"> Nur wenige Eigentümer Bei gewidmeten Gewässern (2./3. Ordnung) Für zeitlich befristete Anhebung der Wasserstände (Stauhaltung) Bei geplanter Wasserentnahme 	<ul style="list-style-type: none"> Zustimmung der Eigentümer Entwurfs- und Genehmigungsplanung (LP 3+4) 	<ul style="list-style-type: none"> bei unkomplizierten Bauverfahren und Projekten mit geringen Betroffenheiten (keine Oberlieger u.ä.) Beteiligung der Träger öffentlicher Belange entscheidet die Wasserbehörde nach Sachlage / Betroffenheit
Wasserrechtliche Genehmigung / Plangenehmigung	<ul style="list-style-type: none"> Es liegt keine UVP-Pflicht vor Bei gewidmeten Gewässern Bei Betroffenheit von größerer Anzahl an Eigentümern, Oberlieger u.ä. und/oder mehreren Schutzgütern 	<ul style="list-style-type: none"> Entwurfs- und Genehmigungsplanung (LP 3+4) hydraulische / hydrogeologische Betrachtung Baugrundgutachten für Bauwerksstandorte naturschutzfachliche Gutachten (Artenschutz, FFH-(Vor)Verträglichkeit) Zustimmung der Eigentümer Ggf. Gutachten zu den Auswirkungen Wasserrahmenrichtlinien-Fachbeitrag 	<ul style="list-style-type: none"> Ggf. Stellungnahmen weiterer Behörde erforderlich Behörde entscheidet ohne Beteiligung der Öffentlichkeit, keine Abwägung möglich Beteiligung der Träger öffentlicher Belange (Verbände usw.) nach Betroffenheit
Planfeststellung	<ul style="list-style-type: none"> Wenn Vorhaben UVP pflichtig ist nach WHG Bei Vorhaben mit eher komplexen Betroffenheiten (u.a. Landwirtschaft, Infrastruktur, Wohnbebauung) Wenn Rechte Dritter berührt sein könnten (z.B. nicht alle Eigentümer sind bekannt) 	<ul style="list-style-type: none"> Entwurfs- und Genehmigungsplanung (LP 3+4) hydraulische / hydrogeologische Betrachtung Baugrundgutachten für Bauwerksstandorte naturschutzfachliche Gutachten (Artenschutz, FFH-(Vor)Verträglichkeit) Gutachten zu den Auswirkungen Wasserrahmenrichtlinien-Fachbeitrag 	<ul style="list-style-type: none"> Hat bündelnden Charakter, Behörde kann abwägen und im Interesse des Gemeinwohles entscheiden Beteiligung aller Betroffenen, der Fachbehörden und der Öffentlichkeit erforderlich

Eine **Baugenehmigung** ist erforderlich, sofern bauliche Anlagen errichtet werden sollen. Die Baugenehmigung wird i.d.R. im Rahmen des wasserrechtlichen Verfahrens erteilt. Ob und in welchem Umfang die Baugenehmigung erforderlich ist, ist abhängig von den geplanten Maßnahmen, dem jeweiligen Landesrecht und der Genehmigungsbehörde. Beispielsweise war bei der Einrichtung der Rohrkolbenkultur in Neukalen (MV, Projekt PaludiprIMA) eine Baugenehmigung nur für den Aufbau von Solarmodulen nötig, wohingegen in Hankhausen bei Oldenburg (Niedersachsen) für die Einrichtung der Torfmoos-Paludikultur ein vereinfachtes Verfahren erforderlich war (siehe Projekt-Beispiele im Kapitel 7.1 und 7.2).

Planungsschritte

Die Planung stellt den Zielzustand gegenüber dem Ausgangszustand dar, aus dem qualitativ und quantitativ die Betroffenheit der Eigentümer*innen und Nutzer*innen sowie Dritten hervorgeht. Es werden die einzelnen Maßnahmen und ihre Auswirkungen dargestellt sowie die Kosten ermittelt. Die Planung wird von Fachplaner*innen durchgeführt.

In der Leistungsphase (LP) 2 wird die Vorplanung erstellt, dazu gehört die Betrachtung der Wasserverfügbarkeit, Bodenanalyse, Abschätzung der Umsetzbarkeit, Prüfung der Eigentumsverhältnisse und beinhaltet die Möglichkeit der Prüfung verschiedener Varianten. Für die Ermittlung der Betroffenheiten können hydraulische / hydrogeologische Gutachten notwendig sein.

In der LP 3 wird die ausgewählte Variante im Entwurf geplant und es werden die Kosten für die Maßnahmen berechnet. Aufbauend auf dem Entwurf wird in LP 4 die Planung im Detail ausgeführt, dazu gehören u.a. die Art der Bauwerke, Zuwegungen, Zeitplanung für die Realisierung. Die Ergebnisse von LP 4 werden bei der Behörde zur Genehmigung eingereicht. In LP 3 + 4 erfolgen auch

die speziellen Untersuchungen, sofern sie von der Genehmigungsbehörde gefordert sind, z.B.

- FFH-Vorprüfung, ggf. ist eine FFH-Verträglichkeitsuntersuchung nötig (z. B., wenn sich innerhalb des Wirkungsbereichs des Paludikulturvorbahens ein Natura 2000-Schutzgebiet befindet),
- UVP-Vorprüfung, ggf. ist Umweltverträglichkeitsprüfung nötig.
- landschaftspflegerischer Begleitplan (Anwendung der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung),
- ggf. artenschutzrechtlicher Fachbeitrag (mögliche Betroffenheit besonders oder streng geschützter Arten).

Zudem ist eine begleitende Öffentlichkeitsarbeit sinnvoll. Gerade bei größeren Vorhaben sollte das Projekt frühzeitig den Eigentümer*innen, Nutzer*innen und Anwohner*innen vorgestellt werden, sowie regelmäßig über den Prozess informiert werden (Info-Veranstaltungen, Exkursionen, Presse, Info-Brief, Schautafel etc.).

Agrarrecht / Notwendige Sondergenehmigungen

Verschiedene Sonderregelungen können für die Umsetzung von Paludikultur relevant werden. Hier sind aktuell häufig Anträge auf Ausnahmegenehmigungen notwendig.

Grünlanderhalt

Die Etablierung von Anbau-Paludikulturen auf bisherigem Dauergrünland stellt eine Umwandlung von Dauergrünland in eine Dauerkultur dar und unterliegt den Vorgaben zum Grünlanderhalt. Hierfür ist bisher in der Regel die Anlage einer Ersatz-Grünlandfläche erforderlich (GMC & DVL 2021). Dies ergibt sich aus dem Agrarbeihilferecht (GAP-Direktzahlungen-Gesetz) sowie wasser- und naturschutzrechtlichen Vorgaben (Was-

5. Planung und Genehmigung

serhaushaltsgesetz, Bundesnaturschutzgesetz) und landesrechtlichen Vorgaben in einigen Bundesländern (M-V, S-H, NI, BY) (GMC & DVL 2021). Hier ist frühzeitige Kontaktaufnahme und Einbindung des zuständigen Ministeriums oder Landwirtschafts- und Umweltamtes wichtig, um möglichst einen Ausgleich des Grünlandverlusts zu vermeiden.

Allgemeine Ausnahmeregelungen bestehen bereits (Einzelfallentscheidungen, z.B. wegen öffentlichen Interesses), weitere Sonderregelungen bzw. Ausnahmeregelungen sind notwendig. Dies betrifft die Vorgaben zum Grünlanderhalt im Rahmen der neuen Konditionalität, in erster Linie den GLÖZ 1 „Erhaltung von Dauergrünland“ sowie GLÖZ 2 (Schutz von Feuchtgebieten und Mooren) und GLÖZ 9 (Verbot der Umwandlung oder des Umpflügens von Dauergrünland in Natura-2000-Gebieten). Ausnahmen zu diesen Vorgaben könnten durch die nationale Umsetzung in das GAPKondG sowie die detailliertere Rechtsverordnung GAPKondV geregelt werden. Laut § 12 GAPKondV ist der Anbau von Paludikulturen mit Ausnahme konkreter, naturschutzfachlich relevanter Grünlandflächen grundsätzlich zulässig. Bisher ist jedoch nicht explizit formuliert, dass die Umwandlung von Grünland in Paludi-Dauerkultur ohne Ausgleich des Grünlandverlustes erfolgen kann. Dies verursacht Unsicherheiten bei Landnutzenden, Verwaltung und Kontrollbehörden. Auch die europäische Kommission bat in ihrem „observation letter“ zum NSP im Mai 2022 um Prüfung der Einführung einer Ausnahme von den Anforderungen für Ersatzflächen. Eine Überarbeitung des Nationalen Strategieplans zur GAP sollte hier Verbesserungen vornehmen, so dass die Umwandlung von Grünland in Paludi-Dauerkulturen nicht als Grünlandverlust gewertet wird (GMC & DVL 2021, Wichmann et al. 2022a).

Rohrmahd

Für die Mahd bestehender Röhrichte muss eine Ausnahmegenehmigung vom gesetzlichen Biotopschutz (z.B. § 20 NatSchAG M-V) beantragt werden, wobei die „Richtlinie zur Mahd von Schilfrohr in Röhrichten“ (LM M-V 2000) zu beachten ist und eine Verbandsbeteiligung (§ 30 NatSchAG M-V) zu erfolgen hat. Genehmigungen werden nur für wenige Jahre erteilt und müssen dann neu beantragt werden. Eine Überarbeitung der sog. „Rohrmahdrichtlinie“ in M-V wird aktuell diskutiert. So könnten Schilfbestände, die auf Feldblöcken angepflanzt oder durch Umstellung von Sommer- auf Wintermahd etabliert wurden, von Einschränkungen und dem gesetzlichen Biotopschutz ausgenommen werden.

6. Unterstützung

6.1 Finanzierungsoptionen

Der Finanzbedarf kann unterteilt werden in einmalige Kosten für die Umstellung der Nutzung auf Paludikultur und laufende Kosten. Für die Flächenvorbereitung und -einrichtung von Paludikultur inkl. der Wasserstandsanhhebung sowie den Aufbau der Verwertung und Vermarktung der Paludikultur-Rohstoffe und Produkte fallen in der Regel einmalige investive Kosten an. Die Flächenpflege und Ernte, sowie das Wassermanagement stellen jährlich wiederkehrende Aufwendungen dar (siehe Kapitel 2.4, Abb. 6.1).

Für die Finanzierung können verschiedene Instrumente kombiniert werden. Öffentliche Förderprogramme für Investitions- und Innovationsförderungen in der Landwirtschaft sowie für die Integration von Natur- und Klimaschutz in die landwirtschaftliche Produktion können die Nutzungsumstellung adressieren. Die Überführung entwässerter Moorzweiden in Nasswiesen kann unter Umständen auch über die Eingriffs- und Ausgleichregelungen erfolgen (Direktkompensationen, Ökokonten). Hier stehen jedoch naturschutzfachliche Belange im Vordergrund. Unter Berücksichtigung zukünftiger Erträge spielen zudem private Investoren bzw. die Finanzierung über Kreditaufnahme eine wichtige Rolle. Analog bestehen Förderprogramme für die verarbeitenden Industrien. Die Deckung der lau-

fenden Kosten kann über Agrarumwelt- und Klimaprogramme (AUKM) erfolgen, welche die höheren Aufwendungen im Vergleich zu einer entwässerungsbasierten Moornutzung ausgleichen und aufgrund der erzielten Ökosystemdienstleistungen gerechtfertigt sind. Eine Honorierung der Ökosystemdienstleistungen kann auch über die Vermarktung von Zertifikaten, flächen- oder produktbezogen, über den privaten Markt erfolgen. Bei der Kombination verschiedener Finanzierungen, z.B. Förderung für Flächenkauf und Wiedervernässung und Teilnahme an AUKM ist das Risiko von Doppelförderung zu prüfen und auszuschließen. Mögliche Finanzierungsoptionen für die verschiedenen Schritte bei der Umsetzung von Paludikultur werden im Folgenden dargestellt.

Die Beihilfefähigkeit von Paludikultur über die 1. Säule der GAP ist ab 2023 gegeben (Wichmann et al. 2022a, siehe unten). In allen moorreichen Bundesländern werden Agrarumwelt- und Klimaschutzmaßnahmen (AUKM) für Moorschutz über die 2. Säule angeboten oder andere Moorschutzprogramme über Landesmittel angeboten (siehe 6.1.2). Beispiele für den Einsatz von verschiedenen Instrumenten zur Finanzierung von bereits durchgeführten Paludikultur-Projekten finden sich in Kapitel 7.



Abb. 6.1: Unterteilung der verschiedenen Bereiche mit Finanzierungsbedarf. Blau – v.a. flächenbezogene Finanzierung, grün – betriebsbezogener Unterstützungsbedarf, orange – Finanzierungsbedarfe für die nachgelagerte Verarbeitung und Vermarktung von (Zwischen-) Produkten.

6.1.1 Finanzierungsoptionen für die Einrichtung von Paludikulturen

Für die Etablierung von Paludikultur besteht Investitionsbedarf in verschiedenen Kostenpositionen (Tab. 6.1, Kapitel 2.4). Im Einzelfall fallen nicht unbedingt alle der dargestellten Bestandteile an. Vorhabenträger sind Akteure, welche die konkreten Maßnahmen umsetzen. Das können (landwirtschaftliche) Betriebe oder Zusammenschlüsse von Betrieben sein sowie andere wirtschaftlich tätige Unternehmen, Verbände (z.B. Wasser-Bodenverbände, Landschaftspflegeverbände, Naturschutz- sowie Umweltverbände etc.), Gebietskörperschaften, Vereine, Stiftungen, Forschungseinrichtungen und weitere. Die konkreten Förderrichtlinien, -programme, -aufrufe und -bekanntmachungen benennen die jeweils zulässigen Zuwendungsempfänger. Da sich die Höhe, Ausrichtung und Förderbereiche und -modalitäten regelmäßig verändern, wird im Folgenden lediglich ein kurzer Überblick gegeben und auf die einschlägigen Wissensträger – z.B. Landesämter, Fördereinrichtungen, Berater*innen – für aktuelle Informationen verwiesen. Private Mittel werden z.B. von Stiftungen, über Spenden, Zertifikate ausgegeben. Teilweise fallen bei den Vorhabenträgern Eigenanteile an, bzw. es handelt sich um anteilige Fördersätze an Investitionen.

Durch **öffentliche Förderprogramme** für Projekte und Investitionen und über private Finanzierungsoptionen können landwirtschaftliche oder verarbeitende Betriebe und Verbände, Vereine oder andere Vorhabenträger finanzielle Unterstützung für die Umsetzung von Paludikultur erhalten. Die Finanzierung der öffentlichen Programme erfolgt durch Mittel der EU, des Bundes und der Länder über u.a. Richtlinien und Förderaufrufe.

Auf der europäischen Ebene stehen verschiedene Programme der **EU-Agrar- und Strukturförderung** zur Verfügung. Neben dem Europäischen Landwirtschaftsfonds (ELER) sowie dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) bietet die EU das Finanzierungsinstrument für die Umwelt (LIFE), die lokalen und regionalen Maßnahmenprogramme LEADER und INTERREG sowie ein Budget zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL).

Beispiele für moorspezifische Angebote aus dem EFRE für Investitionen im Bereich Moorbodenschutz und Paludikultur in der nun ausgelaufenen GAP-Förderperiode (2014 – 2022) sind die Programme „ProMoor“ in Brandenburg³⁷ und „Klimaschutz durch Moorentwicklung“ in Niedersachsen³⁸.

Mit **Bundesmitteln**, z.B. aus dem Energie- und Klimafonds (EKf, Weiterentwicklung zum Klima- und Transformationsfonds), werden Maßnahmen im Rahmen des Klimaschutzprogramms 2030 bzw. in Klimaschutz-Sofortprogrammen gefördert. Für Moorbodenschutz und die Reduzierung des Torfeinsatzes im Gartenbau sollen im Zeitraum 2021 – 2023 zunächst 56 Mio. EUR pro Jahr ausgegeben werden, bis zum Jahr 2030 soll dieser Betrag perspektivisch gesteigert werden (Hirschelmann et al. 2020). Förderaufrufe in diesem Rahmen erfolgen beispielsweise über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe³⁹ oder durch andere Projektträger. Im Frühjahr 2022 wurde vom Bundesumweltministerium das **Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz** vorgestellt, welches ein Finanzierungsprogramm mit ca. 4 Mrd. EUR für die Jahre 2022 – 2026 beinhaltet. Die Wiedervernässung und Unterstützung landwirtschaftlicher Betriebe bei der „Einführung angepasster Bewirtschaftungsweisen und deren Wertschöpfung“ sind wesentliche Aspekte in dem Aktionsprogramm (BMUV 2022).

³⁷ https://www.ilb.de/de/pdf/richtlinie_633602.pdf

³⁸ https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Europa_International/efre_moorentwicklung_bf.pdf

³⁹ [FNR058-MuD-Moorbodenschutz-160921.pdf](https://www.fnr.de/ro58-muD-Moorbodenschutz-160921.pdf)

6. Unterstützung

Tab. 6.1: Übersicht über Kostenbestandteile, Kostenträger und Finanzierungsoptionen für die Flächenvorbereitung, Einrichtung des Wassermanagements und Bestandsbegründung von Paludikulturen (verändert nach Schäfer 2016 und Wichmann et al. 2022a). Grau – nicht flächenkonkrete Aufwendungen für Vor-, Begleit- und Nacharbeiten in Verbindung mit Wasserstandsanhebung und Flächeneinrichtung.

¹ Vorhabenträger sind Institutionen, die Projekte im Moor(klima)schutz vorbereiten und umsetzen, z.B. (Zweck-)Verbände, Wasser-Bodenverbände, Einrichtungen und (Zweck-)Betriebe der öffentlichen Hand, Flächenagenturen und Landgesellschaften, Stiftungen, Landwirtschaftsbetriebe etc.

Kostenbestandteile	Kostenträger	Finanzierungsoptionen
Koordination und Kommunikation	Vorhabenträger ¹ , öffentliche Hand	Projektförderung
Recherche und Untersuchungen für Flächenauswahl: Flächenidentifikation, Machbarkeitsstudien, Vorplanung	Vorhabenträger, ggf. Flächeneigentümer*innen, öffentliche Hand	Projektförderung
Ggf. Flächenerwerb/Erwerb von Vernässungsrecht, Gestattung	Vorhabenträger	Projektförderung, z.B. durch EU Agrar- und Strukturförderung, Bundes- und Landesförderprogramme, Kohlenstoffzertifikate, Spendenfonds von Stiftungen, Kompensationsmaßnahmen (Eingriffsregelung)
Maßnahmen- und Genehmigungsplanung, inkl. Naturschutzfachlicher Prüfungen	Vorhabenträger	
Planfeststellung/Plangenehmigung	Vorhabenträger	
Flächenvorbereitung: Bauliche Umsetzung	Vorhabenträger	
Wassermanagement: wasserbauliche Einrichtung	Vorhabenträger	
Bestandsbegründung: ggf. Saat oder Pflanzung	Landwirtschaftlicher Betrieb, Vorhabenträger	Projektförderung, z.B. durch EU Agrar- und Strukturförderung, Bundes- und Landesförderprogramme, Entwicklungs- und Innovationsförderprogramme
Erfolgskontrolle, Monitoring	Vorhabenträger, ggf. Flächeneigentümer*innen, öffentliche Hand	

Konkrete Richtlinien und Förderinstrumente für die Mittel des Aktionsprogramms werden derzeit erarbeitet (Stand Juli 2022).

Die **Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“** (GAK) stellt ein zentrales Förderinstrument für die Land- und Forstwirtschaft, den Küstenschutz sowie ländliche Räume dar⁴⁰. Der Schwerpunkt liegt auf Agrarstruktur- und Infrastrukturmaßnahmen, die u.a. den nicht-produktiven, investiven Naturschutz und wasserwirtschaftliche Maßnahmen beinhalten können⁴¹. Die Mittel werden u.a. über das Agrarinvestitionsförderprogramm durch die einzelnen Bundesländer ausgegeben. Die Landwirtschaftliche Rentenbank fördert und finanziert u.a. mit Programmkrediten Investitionen entlang der gesamten Wertschöpfungskette und plant auch Paludikultur-spezifische Investitionen in ihr Programm aufzunehmen (Richter & Nordt 2022).

In Brandenburg ist mit **Landesmitteln** die Klima-Moorschutzrichtlinie „Klima-Moorschutz investiv“ geplant. Das Programm soll nach Angaben des MLUK 15,6 Mio. EUR umfassen und bis 2026 laufen⁴². Es wird u.a. Baumaßnahmen an Stauanlagen, den Erwerb von angepasster Bewirtschaftungstechnik, die Verwertung von Biomasse aus nassen Mooren sowie den Aufbau von Vermarktungsketten für neue Produkte und eine entsprechende Beratung von Landwirt*innen fördern.

Zu den **privaten Finanzierungsoptionen** im Bereich Moorschutz zählen neben Investoren auch Spenden, Sponsoring sowie der Verkauf von z.B. Kohlenstoffzertifikaten. Sie fokussieren hauptsächlich auf die Honorierung der Klimaschutzleistung bei Wasserstandsanehebungen, könnten aber auch

die nasse Nutzung und Aufwuchsverwertung integrieren.

Mit nicht handelbaren **Kohlenstoffzertifikaten**, wie den MoorFutures, können Käufer*innen ihre nicht vermeidbaren Emissionen kompensieren (Joosten et al. 2013). MoorFutures-Zertifikate werden in Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen und Schleswig-Holstein erzeugt. Mit den Geldern aus dem Verkauf von MoorFutures werden Maßnahmen zur Anhebung der Wasserstände refinanziert. MoorFutures können auf privatem oder öffentlichem Land generiert werden. Die weiterführende (nasse) Nutzung der Flächen ist nicht explizit ausgeschlossen. Weitere Möglichkeiten für Finanzierung aus privaten Mitteln bieten **Naturschutz-Zertifikate** (z.B. der Online-Marktplatz für Ökosystemleistungen „Agora-Natura“) sowie Spenden, etwa spendenbasierte Fonds die u.a. Moorflächen sichern und bauliche Maßnahmen zur Wasserstandsanehebung finanzieren (z.B. die Moorland® - KlimaSpende des BUND, Deutscher Moorschutzfonds und Klimafonds des NABU, Moorschutzfonds Schleswig-Holstein der Stiftung Naturschutz Schleswig-Holstein).

Ökokonten und **Kompensationsmaßnahmen** stellen eine weitere Finanzierungsmöglichkeit für die Planung und Umsetzung von Wasserstandsanehebungen dar, die im Rahmen der Eingriffsregelung häufig aus privaten Mitteln gespeist wird (Wichmann et al. 2022a). Dabei werden durch Vorhabenträger Wiedervernässungen geplant und umgesetzt, und die damit verbundenen Kosten auf Ökopunkte umgelegt, die an Bauherren mit Ausgleichspflicht vermarktet werden können, bzw. als Kompensationsmaßnahme durch Ausgleichspflichtige finanziert werden.

⁴⁰ <https://www.bmel.de/DE/themen/laendliche-regionen/foerderung-des-laendlichen-raumes/gemeinschaftsaufgabe-agrarstruktur-kuestenschutz/gak.html>

⁴¹ <https://www.bmel.de/DE/themen/laendliche-regionen/foerderung-des-laendlichen-raumes/gemeinschaftsaufgabe-agrarstruktur-kuestenschutz/gak-foerdergrundsaeetze.html> <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/laendliche-Regionen/Foerderung-des-laendlichen-Raumes/GAK/Foerderbereich4-22.html>

⁴² <https://mluk.brandenburg.de/mluk/de/aktuelles/presseinformationen/detail/~20-10-2021-klimaschutz-durch-moorbodenschutz>

6. Unterstützung

6.1.2 Finanzierungsoptionen für die Bewirtschaftung von Paludikulturen

Die Kosten für den betrieblichen (Mehr-)Aufwand der Flächenbewirtschaftung bei hohen Wasserständen sind jährliche Aufwendungen, die primär von dem Erlös aus der Vermarktung der Rohstoffe und Produkte aus Paludikultur getragen werden (Tab. 3.10 in Kapitel 3.2) aber auch über die Honorierung der ökologischen Leistungen, als jährliche Zahlungen unterstützt werden können (Tab. 6.2).

Zu der Bewirtschaftung gehört neben der Bestandspflege und -ernte je nach Art der Paludikultur auch ein aktives Wassermanagement (siehe Kapitel 2.2), z.B. Zuwässerung und Wasserstandsregulierung über Pumpen, die eine Stromversorgung,

Wartung und Betreuung benötigen aber auch die Pflege von Gräben und Fahrdämmen bzw. Dämmen, die der hydrologischen Unterteilung dienen. Diese Aufgaben können in Eigenleistung durch die landwirtschaftlichen Betriebe oder von Dienstleistern oder Zweckverbänden übernommen werden. Das Wassermanagement fällt ggf. in das Aufgabengebiet der Wasser- und Bodenverbände bzw. Unterhaltungsverbände, die hierfür eine flächenbezogene Umlage erheben.

Neben den Management-Aufwendungen ist die Anschaffung von angepasster Technik für die Bewirtschaftung erforderlich. Hierbei muss der höhere Wartungsaufwand je Betriebsstunde berücksichtigt werden (siehe Kapitel 2.3).

Tab. 6.2: Übersicht Kostenbestandteile, Kostenträger und Finanzierungsoptionen für die Bewirtschaftung nasser und vernässter Moorböden/Paludikulturen (verändert nach Schäfer 2016 und Wichmann et al. 2022a). Die Angaben zur Kostendeckung sind nicht abschließend; im Einzelfall und in Zukunft können aufgeführte Finanzierungsoptionen auch für jeweils andere Kostenbestandteile greifen, sowie weitere Finanzierungsoptionen hinzukommen (siehe Schäfer et al. 2022).

Kostenbestandteile	Kostenträger	Kostendeckung
Wassermanagement: Zuwässerung	Landwirtschaftlicher Betrieb, Vorhabenträger	Agrarumwelt- und Klimaschutzmaßnahmen (AUKM, 2. Säule der GAP), z.T. Ökointerpretation
Bestandspflege	Landwirtschaftlicher Betrieb	Erlöse aus Biomasse, z.T. Vertragsnaturschutz, AUKM
Ernte	Landwirtschaftlicher Betrieb, Vorhabenträger	Landes-/ Bundesförderprogramme für Investitionsförderung zur Anschaffung von Erntetechnik
Beratung	Landwirtschaftlicher Betrieb	AUKM, Innovationsförderung
(Technik- & Produkt-) Entwicklung	Landmaschinenhersteller, Verarbeitende Unternehmen, Forschungsinstitute, Vorhabenträger	Innovationsförderung, Forschungs- und Entwicklungsprogramme
Erfolgskontrolle, Monitoring	Landwirtschaftlicher Betrieb, Vorhabenträger	2. Säule der GAP

Agrarbeihilfen für die Bewirtschaftung

Jährliche Agrarbeihilfe in Form von Direktzahlungen aus der 1. Säule der gemeinsamen Agrarpolitik kann ab 2023 für Paludikulturflächen in Anspruch genommen werden. Direktzahlungen konnten bisher nur für die Bewirtschaftung von Nasswiesen sowie für den Anbau von Torfmoosen in Anspruch genommen werden, da nicht alle Formen der Paludikultur als landwirtschaftliche Tätigkeit anerkannt sind. Der Anbau vieler Feuchtgebietsarten war bisher nicht beihilfefähig (z.B. Schilf oder Rohrkolben), da die erzeugten Produkte nicht als „landwirtschaftliche Erzeugnisse“ eingestuft sind (Peters & Unger 2019). Möglichkeiten zum Erhalt der Beihilfefähigkeit auf Paludikultur-Flächen ergeben sich aber nun durch Ausnahmeregelungen zu „beihilfefähigen Flächen“ (Wichmann et al. 2022a). Der Nationale Strategieplan für die neue Förderperiode ab 2023 enthält eine Ausnahme-Regelung zum Erhalt der Beihilfe auf Flächen mit Paludikultur, wenn sie Teil von flächenbezogenen Maßnahmen für beispielsweise Klimaschutz und Klimaanpassung oder für Biodiversitätsschutz sind (§11 GAPDZV). Wie genau sich Paludikultur-Flächen für diese Ausnahmeregelung qualifizieren, ist noch nicht klar geregelt. In der kommenden GAP-Förderperiode ist nun in einigen Bundesländern die Einführung von Förderprogrammen für Anbau-Paludikulturen oder für die Anhebung der Wasserstände geplant.

Honorierung ökologischer Leistungen

Maßnahmen der 2. Säule der GAP, sowie Landesprogramme in einzelnen Bundesländern

Schon in der bisherigen Förderperiode (2014 – 2022) gab es Fördermöglichkeiten und Maßnahmen für Paludikultur innerhalb der 2. Säule der GAP (Europäischer Landwirtschaftsfonds für die

Entwicklung des ländlichen Raums – ELER). Dabei wird der Mehraufwand der Bewirtschaftung von Moorböden mit ganzjährig torferhaltenden, bzw. schwach torfzehrenden Wasserständen ausgeglichen und so die erzielten Umweltleistungen honoriert (Hirschelmann et al. 2020). In der neuen Förderperiode ab 2023 sind in den Bundesländern verschiedenen AUKM sowie Landesprogramme geplant, die Paludikultur und/oder Moorbodenschutz adressieren.

Bayern: Ein weiteres Instrument der Honorierung bietet der Vertragsnaturschutz, der klimaverträgliche Bewirtschaftung von Mooren einschließen kann. Ein Beispiel hierfür ist das bayerische Vertragsnaturschutzprogramm (VNP) des Umweltministeriums, das die natur- und klimaschonende Bewirtschaftung von Wiesen und Weiden auf Niedermooren unterstützt (Bayerischer Landtag 2019). Im Rahmen der Bayerischen Klimaschutzoffensive (November 2019) wurde ein Moorbauernprogramm angekündigt, in dessen Rahmen das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten die Förderung „moorvertraglicher Bewirtschaftungsformen“ auf 20.000 ha bis 2029 unterstützen will⁴³. Die Umwandlung ackerbaulich genutzter Niedermoore in Grünland soll mittels Vertragsklimaschutz gefördert werden. Ebenso sind förderrechtliche Instrumente für die Bewirtschaftung bei erhöhtem Wasserstand und Anbau-Paludikulturen geplant (Hirschelmann et al. 2020).

Laut dem deutschen Strategieplan für die gemeinsame Agrarpolitik sind in Bayern keine Agrar-Umwelt-Klima-Maßnahmen (AUKM) in der 2. Säule geplant (BMEL 2022b).

Brandenburg plant die Fortführung des Programms „Moorschonende Stauhaltung“ im Rah-

⁴³ <https://www.stmuv.bayern.de/themen/klimaschutz/klimaschutzgesetz/kurzfassung.htm>

6. Unterstützung

men der 2. Säule der GAP mit mehreren Förderstufen und einer umfangreichen Kulisse (BMEL 2022b). Weiterhin ist eine Maßnahme für den Anbau von Paudikulturen auf Ackerland geplant. Zudem soll über die o.g. Klima-Moorschutzrichtlinie „Klima-Moorschutz investiv“ unter anderem der Erwerb von angepasster Bewirtschaftungstechnik und Beratungen gefördert werden.

Mecklenburg-Vorpommern plant nach einem 2-jährigen Test der moorschonenden Stauhaltung in der Flächenkulisse des EU LIFE Projekts Limicodra (Limberg 2022) ab 2023 erstmalig eine landesweite AUKM für Stauhaltung auf Moorflächen (BMEL 2022b). Eine weitere Maßnahme zur Förderung von Anbau-Paludikulturen ist geplant. Es wird außerdem der Einsatz von EFRE-Mitteln für den Moorschutz geprüft (neben Waldumbau/Aufforstung und Gebäudesanierung) (Wichmann et al. 2022b).

Niedersachsen bietet AUKM zur Förderung von Grabeneinstau sowie, wie einige andere Bundesländer, die Umwandlung von Acker zu Grünland als Moorschutz-Maßnahmen an⁴⁴. Eine Maßnahme für Anbau-Paludikulturen ist laut Strategieplan nicht vorgesehen (BMEL 2022b).

Schleswig-Holstein: Die Landesregierung SH hat in ihrem Programm „Biologischer Klimaschutz durch Moorschutz und Neuwaldbildung“ das Ziel gesetzt, bis 2030 700.000 t CO₂-Äq pro Jahr durch Moorschutz einzusparen (Hirschelmann et al. 2020). Dabei sollen möglichst große Synergieeffekte zwischen Klimaschutz, Naturschutz, Biodiversität und Gewässerschutz erzielt werden. Die überwiegend intensiv genutzten Niedermoore mit hohen Emissionen sollen bei höheren Wasserständen als Nassgrünland weiter in der Nutzung bleiben, um den Fortbestand der landwirtschaftlichen Betriebe zu sichern (Hirschelmann et al. 2020).

⁴⁴ https://www.ml.niedersachsen.de/download/182209/Kurzuebersicht_ueber_die_Auflagen_und_Foerderbedingungen_der_Agrarumwelt-und_Klimamassnahmen_Stand_22.06.2022_.pdf

⁴⁵ z.B. TyphaSubstrat: <https://www.fnr.de/projektfoerderung/ausgewaehlte-projekte/projekte/ernte-und-nutzung-von-rohrkolben> und GesaSpAn: <https://www.fnr.de/index.php?id=1150&fkz=2220MT002X>, siehe auch Kapitel 2.3

Einige der o.g. Investitionsfördermöglichkeiten umfassen auch die Förderung von Anschaffung angepasster Bewirtschaftungs- und Erntetechnik bzw. werden dahingehend erweitert. Die Weiterentwicklung von angepasster Technik wird im Rahmen von Innovationsförderung teilweise über Forschungs- und Entwicklungsprogramme mitfinanziert, etwa im Rahmen von nationalen oder internationalen Verbundvorhaben aus Forschungs- und Praxispartnern⁴⁵. Schäfer et al. (2022) geben einen Überblick über bestehende Investitions- und Innovationsförderung sowie Erweiterungsmöglichkeiten, um Paludikultur-spezifische Förderaspekte darin zu integrieren.

Aktuelle Informationen und Beratungen für Programme der 2. Säule und/oder Landesprogramme können einschlägige Institutionen in den einzelnen Bundesländern geben, z.B. Agrarberatungen (der Bauernverbände), Landwirtschaftskammern und/oder die jeweilig verantwortlichen Behörden.

6.1.3 Verwertung und Vermarktung von Biomasse aus Paludikulturen

Die Erlöse aus der Vermarktung von Paludikultur-Rohstoffen und -Produkten decken derzeit vielfach noch nicht die Kosten für Investitionen und Bewirtschaftung (s. Tab. 3.10 und Kapitel 2.4). Die Förderung von Investitionen in neue oder zu erweiternde Verarbeitungsanlagen sowie auch die Förderung von (Produkt-)Entwicklungen und deren Marktzugang ist daher kurz- bis mittelfristig notwendig, um die Nachfrage nach Paludikultur-Rohstoffen zu fördern.

Der investive Aufbau von Verwertung und Vermarktung kann über einmalige Projektförderung unterstützt werden. Perspektivisch können höhere Einnahmen über Produktlabel oder -zertifikate ge-

Tab. 6.3: Übersicht Kostenbestandteile, Kostenträger und Finanzierungsoptionen für die Verwertung und Vermarktung von Paludikultur-Rohstoffen und -Produkten (verändert nach Wichmann et al. 2022a).

Kostenbestandteile	Kostenträger	Finanzierungsoptionen
Aufbau neuer Verarbeitungsanlagen	(Zusammenschlüsse von) landwirtschaftlichen Betrieben, verarbeitende Unternehmen	Investitions- und Innovationsförderung
Entwicklung neuer Produkte	Unternehmen, (anwendungsnahe) Forschungseinrichtungen	Innovationsförderung
Zulassungsprüfung u.a., Herstellung eines Marktzuganges	Unternehmen, (anwendungsnahe) Forschungseinrichtungen	
Vermarktung von Produkten	Unternehmen, Endabnehmer	z.B. Produktlabel

neriert werden, bei denen ein höherer Endproduktpreis die Klimaschutzleistung von Paludikultur integriert ist, ähnlich dem Ökolandbau (Wichmann et al. 2020, Wichmann et al. 2022a, Rühs & Steinbachinger 2018, siehe auch Box 3.1 „Carbon footprint von Dämmstoffen aus Paludikultur“ in Kapitel 3.1.3). Grundlagen für eine Zertifizierung von Paludikultur-Produkten werden aktuell erarbeitet⁴⁶.

Innovationsförderung kann die Entwicklung und Markteinführung von Produkten aus Paludikultur unterstützen. Programme wie das Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) des BMWK und das Programm KMU-innovativ des BMBF sind dafür geeignet, müssen in ihren Förderthemen jedoch gezielt um Paludikultur-Fragestellungen und Entwicklungen erweitert werden (Wichmann et al. 2022a). Aktuell werden Innovationen vor allem über Forschungs- und Entwicklungsvorhaben gefördert, z.B. von der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe über spezifische Förderaufrufe⁴⁷ und andere europäische, bundes- und landesmittel-finanzierte Projektförderungen (siehe Kapitel 6.1.1).

6.1.4 Ausblick

Mit der **Carbon Farming Initiative** der EU soll eine klimafreundliche Landbewirtschaftung unterstützt werden. Aktuell werden über Projektförderung Pilotprojekte umgesetzt, u.a. um Erfahrungen für eine Skalierung zu sammeln. Unter anderem soll ein Zertifizierungssystem erarbeitet werden, wie klimafreundliche Landnutzung honoriert werden kann⁴⁸.

Bereits 2019 haben Isermeyer et al. Vorschläge gemacht, wie CO₂-Emissionen in der Landwirtschaft bepreist, bzw. die Einsparung von Emissionen honoriert werden könnten. Eine Möglichkeit ist die Einbindung von Moorböden in einen **nationalen Emissionshandel**, wobei Emissionsrechte an Flächeneigentümer*innen vergeben werden, die sie nach einer Wasserstandsanhebung verkaufen können. Damit wären langfristige Finanzierung und Planungssicherheit für Betriebe ermöglicht, die Paludikulturen bewirtschaften.

⁴⁶ <https://biooekonomie.uni-greifswald.de/project/bueffelwirtschaft/>

⁴⁷ <https://pflanzen.fnr.de/paludikultur>

⁴⁸ https://ec.europa.eu/clima/eu-action/forests-and-agriculture/sustainable-carbon-cycles/carbon-farming_de#funding

6. Unterstützung

Für die Transformation der deutschen Grundstoffindustrie mit ihren langen Investitionszyklen schlagen Agora Industrie et al. (2021) **Klimaschutzverträge** als kurzfristiges Instrument vor, mit deren Hilfe die Mehrkosten bei einem Umstieg auf eine klimafreundliche Produktion im Vergleich zur Referenztechnologie staatlich finanziert werden. Mit diesem Instrument kann der Aufbau von grünen Leitmärkten angestoßen werden. In ähnlicher Weise könnte ein solches Instrument ggf. genutzt werden, um landwirtschaftliche Betriebe oder betriebliche Zusammenschlüsse bei der Umstellung auf Paludikultur zu unterstützen.

Bei dem **Niederländischen Modell** können seit 2016 nur noch regionale Zusammenschlüsse landwirtschaftlicher Betriebe, sog. „Collectiven“, Agrarumwelt- und Klimaschutzmaßnahmen der 2. Säule der GAP in den Niederlanden beantragen⁴⁹. Mit diesem regionalen Ansatz soll der administrative Aufwand reduziert, die Wirksamkeit der Maßnahmen in Bezug auf Biodiversität verbessert und der/dem einzelnen Landwirt*in mehr Flexibilität bei der Umsetzung ermöglicht werden. Kooperative Ansätze sind vor allem im Moorschutz notwendig, um Raum- und Nutzungskonflikte bei der Umstellung auf Paludikultur zu reduzieren, bzw. lange Verzögerungen zu vermeiden (DVL & GMC 2022).

Technologien und Konzepte zur Abscheidung/Festlegung und Speicherung von CO₂ unter der Nutzung von Biomasse (biobasierte Negative-Emissionen-Technologien – **NETs**) sind ein zentrales Element von Netto-null-Politikstrategien. In langlebigen Produkten, Baustoffen, CO₂-Abscheidung bei energetischer Verwertung (BECCS), Ersatz von fossilen Rohstoffen sowie langfristiger C-Speicherung und Akkumulation im Torf, kann Paludikultur zu negativen Emissionen führen. Die Nutzung von Rohstoffen aus Paludikultur kann so eine Insetting-Möglichkeit für Unternehmen darstellen, um ihre CO₂-Emissionen zu reduzieren.

6.2 Beratung

Angebote der Agrarberatung zum Thema Paludikultur oder Klimaschutz auf Moorböden sind bisher kaum oder gar nicht vorhanden. Zurzeit sind vor allem wissenschaftliche Einrichtungen und Vorhabenträger im Bereich Moor(boden)schutz, sowie Akteure aus der Landschaftspflege zentrale Wissens- und Erfahrungsträger zur Umsetzung von Wiedervernässung und Paludikultur. Neben den o.g. Leitfäden (Kapitel 2) finden sich Informationen u.a. auf Webseiten, Berichten und Dokumentationen, zum Beispiel:

- Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/natur-und-landschaft/moorschutz>
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL): Moorverträgliche Bewirtschaftungsverfahren, <https://www.lfl.bayern.de/iab/kultur-landschaft/262620/index.php>
- MoorUse Projekt: Anbau von Rohrkolben, Rohrglanzgras, Seggen; Hochschule Weihenstephan Triesdorf in Kooperation mit ARGE Donaumoos, <https://forschung.hswt.de/forschungsprojekt/958-mooruse>
<https://www.arge-donaumoos.de/>
- Bayerisches Landesamt für Umwelt
- ARGE Klimamoos und Landesamt für Umwelt Brandenburg, <https://www.klimamoos-brandenburg.de/>
<https://lfu.brandenburg.de/lfu/de/aufgaben/boden/moorschutz/moorschutzstrategie/>
- Greifswald Moor Centrum (Mecklenburg-Vorpommern): Überblick über Paludikulturen, <https://www.moorwissen.de/de/paludikultur/imdetail/projekte.php>
- Landgesellschaft Mecklenburg-Vorpommern, Stiftung Natur und Umwelt M-V, Naturschutzstiftung Deutsche Ostsee
- Rohrwerberverband (im Bereich Schilfnutzung), beispielsweise Rohrdachdecker-Innung Mecklenburg-Vorpommern

⁴⁹ <https://www.netzwerk-laendlicher-raum.de/agrar-umwelt/naturschutzkooperationen/modell-niederlande/>

- Kompetenzstelle Paludikultur im Kompetenzzentrum 3N, Niedersachsen, <https://www.paludikultur-niedersachsen.de/>
- Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN)
- Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg (Niedersachsen), <https://uol.de/vegetationskunde/forschung/projekte/moorschutz-fuer-libellen-tagfalter>
- Stiftung Naturschutz Schleswig-Holstein, Ausgleichsagentur Schleswig-Holstein
- Landschaftspflegeverbände: Dachverband Deutscher Verband für Landschaftspflege (DVL), <https://www.dvl.org/themen/klimaschutz>, lokale Verbände (z.B. Landschaftsförderverein Oberes Rhinluch e.V., Lokale Aktion Bündnis Naturschutz in Dithmarschen e.V., ARGE Donaumoos). Die Verbände können als Vermittler helfen, die richtigen Ansprechpartner*innen zu finden, Kooperationen für Nutzung oder Techniknutzung aufzubauen sowie bei der Projektumsetzung unterstützen,
- Pilotvorhaben und Modellprojekte für Paludikultur, z.B. Vorhabenträger im Rahmen der BMUV-Moorbodenschutz-Pilotprojekte, sowie BMEL-Modell- und Demonstrationsvorhaben Moorbodenschutz, <https://www.z-u-g.org/aufgaben/pilotvorhaben-moorbodenschutz/>, <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/klimaschutz/moorbodenschutz.html>
- Moorklimawirte (siehe auch Kapitel 1.3.4), www.moorklimawirt.de
- Weitere Akteure aus der Landschaftspflege (z.B. Anbieter*innen und Expert*innen im Bereich Ernte- und Transport-Technik oder -Logistik)
- Wasser-Bodenverbände, Deich- und Sielverbände, Unterhaltungsverbände (im Rahmen ihrer Verbandsaufgaben)

Für einen zukünftigen Austausch und als Beratungs-Anlaufstelle für Landwirt*innen wäre z.B. die

Gründung einer Moorbauern-Vereinigung und der Aufbau eines Moorklimawirte-Netzwerkes sinnvoll. Zudem ist zu erwarten, dass bei wachsender Nachfrage bzw. wachsendem Bedarf die vorhandenen landwirtschaftlichen Beratungsstrukturen ihre Kapazitäten für die Beratung zu Paludikulturen, Wasserrückhalt und -management, nasser Bewirtschaftung, ggf. auch zu den neuen Nutzungspfaden aufbauen und erweitern. Denn nur mit einem breiten Wissens- und Praxistransfer und einem (regionalen) Austausch von Erfahrungen und wachsendem Wissen können derzeit bestehende Wissenslücken gefüllt und Hemmnisse überwunden werden.

Weitere Informationen bzgl. Unterstützung

- Schäfer et al. (2022): Anreize für Paludikultur zur Umsetzung der Klimaschutzziele 2030 und 2050, in Veröffentlichung.
- Hirschelmann et al. (2020): [Moorschutz in der Gemeinsamen Agrarpolitik – Instrumente für eine klimaverträgliche Moornutzung in Deutschland](#).
- Anlaufstellen in den Bundesländern für die Beantragung von AUKM, Landwirtschaftliche Beratungseinrichtungen, Bauernverbände
- Webseiten von Fördereinrichtungen, z.B. Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (BMEL), Landwirtschaftliche Rentenbank, ZUG gGmbH (BMUV), Landesförderinstitute bzw. Landesförderbanken
- Förderdatenbank des BMWK: www.foerderdatenbank.de
- Pius Info Portal mit Förderprogrammen der Länder: <https://www.pius-info.de/service/foerderung-und-beratung/foerderprogramme-laender/>, Zertifikate: www.moorfutures.de, www.agora-natura.de
- Stiftungen, z.B: Deutsche Bundesstiftung Umwelt, NABU-Stiftung Nationales Naturerbe
- DVL & GMC (2022): [Zusammenarbeit im Moor – so kommt der Klimaschutz voran!](#)

7. Umsetzungsbeispiele

7.1 Praxisanbau von Rohrkolben (Typha) – Demonstrationsfläche „Teichweide“ bei Neukalen (Mecklenburg-Vorpommern)

Im Projekt Paludi-PRIMA⁵⁰ wurde auf ~ 10 ha Niedermoorgrünland eine Praxisfläche angelegt, um die Kultivierung von Rohrkolben zu erproben und zu untersuchen. Die Rohrkolbenfläche befindet sich im Flusstal der Teterower Peene. Das Niedermoor weist hier eine mächtige Torfschicht von

bis zu 4 – 5 m auf. Der frühere Grünlandbestand wurde von Rohrglanzgras dominiert, durch eine Mutterkuhherde beweidet und für die Winterfutterproduktion gemäht (Abb. 7.1). Der Eigentümer stellt eine Teilfläche des Polders zur Verfügung. Seit dem Jahr 2019 konnten wertvolle Erfahrungen zu Planungs- und Genehmigungsprozessen, Flächenvorbereitung, Pflanzung und Probeernte gesammelt werden (Abb. 7.2).



Abb.7.1: Fläche vor Einrichtung. Foto: T. Dahms (2018)

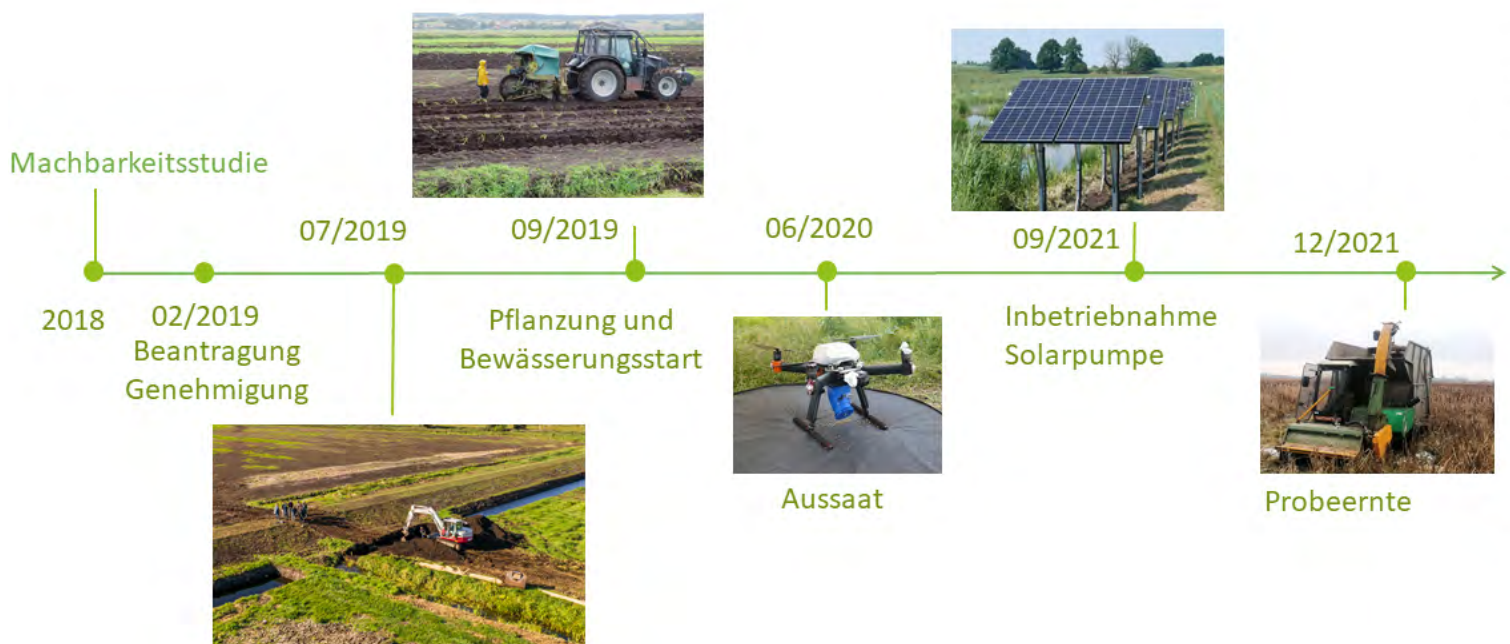


Abb. 7.2: Zeitstrahl Praxisanbau von Rohrkolben: Von der Einrichtung 2019 zur ersten Ernte 2021.

⁵⁰ <https://www.moorwissen.de/prima.htm>

Genehmigungsverfahren, Einrichtung Versuchsfläche

Im Genehmigungsverfahren waren diese Behörden direkt beteiligt:

- Untere Naturschutzbehörde (UNB)
- Untere Wasserbehörde (UWB)
- Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt, Bereich Wasser (StALU)
- Bauamt

Weiterhin wurden der Wasser-Boden-Verband sowie der Naturpark beteiligt bzw. informiert. Der Ablauf des Genehmigungsverfahrens ist in Abb. 7.3 dargestellt.

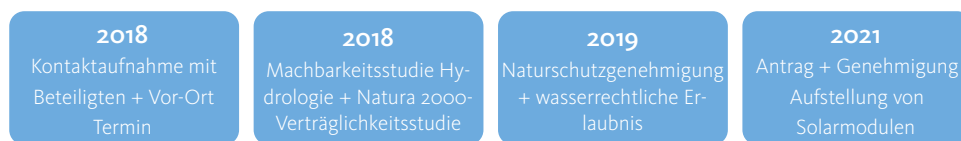


Abb. 7.3: Schritte im Genehmigungsverfahren zur Einrichtung der Versuchsfläche.

Eingereichte Unterlagen (beim Umweltamt Landkreis Mecklenburgische Seenplatte):

- Vorhabenbeschreibung
- Eingriffs-Ausgleichsbilanzierung
- Antrag auf Ausnahme/Befreiung von Verboten im Landschaftsschutzgebiet
- Machbarkeitsstudie: Natura 2000-Vorprüfung und hydrologisches Gutachten⁵¹
- Artenschutzrechtlicher Fachbeitrag zu Brutvögeln und Ergebnisse der Brutvogelkartierung
- Antrag auf wasserrechtliche Erlaubnis
- Zustimmung des Eigentümers
- Befürwortung des Ministeriums für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern

Grundlage für die Genehmigung aus naturschutzfachlicher Sicht

Für das geplante Anbaugelände bestand kein Schutzstatus als Flora-Fauna-Habitat, Naturschutzgebiet oder geschütztes Biotop. Zudem war es nicht in die Förderkulisse Naturschutzgerechte Grünlandnutzung eingeordnet. Somit bestanden keine Gründe, die Eignung der Fläche für Anbau-Paludikulturen grundsätzlich auszuschließen (vgl. LM M-V 2017a, Kapitel 4). Da die Rohrkolbenfläche innerhalb des Landschaftsschutzgebiets und EU-Vogelschutzgebiet „Mecklenburgische Schweiz und Kummerower See“ liegt, musste eine Ausnahme bzw. Befreiung von den in der Schutzgebietsverordnung geregelten Verboten, insbesondere zur Veränderung der Bodengestalt und des Wasserhaushalts,

bei der Unteren Naturschutzbehörde des Landkreises Mecklenburgische Seenplatte beantragt werden. Begründet wurde die Bitte um Ausnahme damit, dass auf Grund der kleinflächigen Maßnahmen keine nachteiligen Effekte zu erwarten seien, sondern vielmehr eine Verbesserung der Leistungsfähigkeit des Naturhaushalts angenommen werden könne.

Durch die Lage der Fläche im Europäischen Vogelschutzgebiet „Mecklenburgische Schweiz und Kummerower See“ wurde eine Natura 2000-Verträglichkeitsvorprüfung erforderlich. Als Ergebnis wurde für die Flächeneinrichtung eine geringfügige Eingriffswirkung auf die Vogelwelt festgestellt. Dies betraf baubedingte Transport- und Schadstoffemissionen, optische und akustische Reize sowie Erschütterungen, was wenige Brutvögel be-

⁵¹ Machbarkeitsstudie für die Errichtung von Constructed Wetlands für 4 Flächen in Mecklenburg-Vorpommern – Ergebnisbericht für die Fläche „Teichweide“, biota – Institut für ökologische Forschung und Planung GmbH.

7. Umsetzungsbeispiele

traf. Die Flächeneinrichtung zog somit keine erheblichen Beeinträchtigungen im Schutzgebiet nach sich und die Erhaltungsziele wurden gewahrt. Damit war das Vorhaben nach § 34 BNatSchG zulässig. Der artenschutzrechtliche Fachbeitrag zu Brutvögeln zeigte, dass die Voraussetzungen für die Gewährung einer Ausnahme nach § 45 Abs. 7 BNatSchG vorliegen, somit keine kompensatorischen Maßnahmen zur Sicherung des Erhaltungszustandes der Arten notwendig seien. Die Naturschutzgenehmigung enthielt spezifische Auflagen für die Zeit vor und während der Baumaßnahmen, um die Beeinträchtigung von Brutvögeln zu vermeiden.

Grundlage für die Genehmigung aus wasserrechtlicher Sicht

Zur Realisierung einer Zuwässerung während der Vegetationsperiode musste für die Entnahme von Oberflächenwasser aus dem naheliegenden Fließgewässer eine Genehmigung beim Staatlichen Amt für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburgische Seenplatte erwirkt werden. In einem Antrag wurde um die wasserrechtliche Erlaubnis zur Entnahme von max. 80.000 m³ je Jahr aus der Teterower Peene gebeten. Laut hydrologischem Gutachten betrug die geplante Entnahmemenge ca. 0,2 % der Durchflussmenge der Teterower Peene. Als Zweck wurde die Wasserentnahme zur Bewässerung einer landwirtschaftlichen Fläche angegeben, welche nach § 16 (2) 5 LWaG entgeltfrei ist. Es wurde eine befristete Erlaubnis erteilt, die Auflagen wie z. B. die Erfassung der tatsächlichen Wasserentnahme durch einen Wasserzähler beinhaltet. Eine ursprünglich angedachte Zuwässerung entlang des natürlichen Gefälles, aus einem mit Nährstoffen belasteten Zufluss der Teterower Peene (Vurzbach), musste im Vorfeld, aufgrund von Bedenken im Zusammenhang mit der Wasserrahmenrichtlinie, verworfen werden.

Grundlage für die Genehmigung aus baurechtlicher Sicht

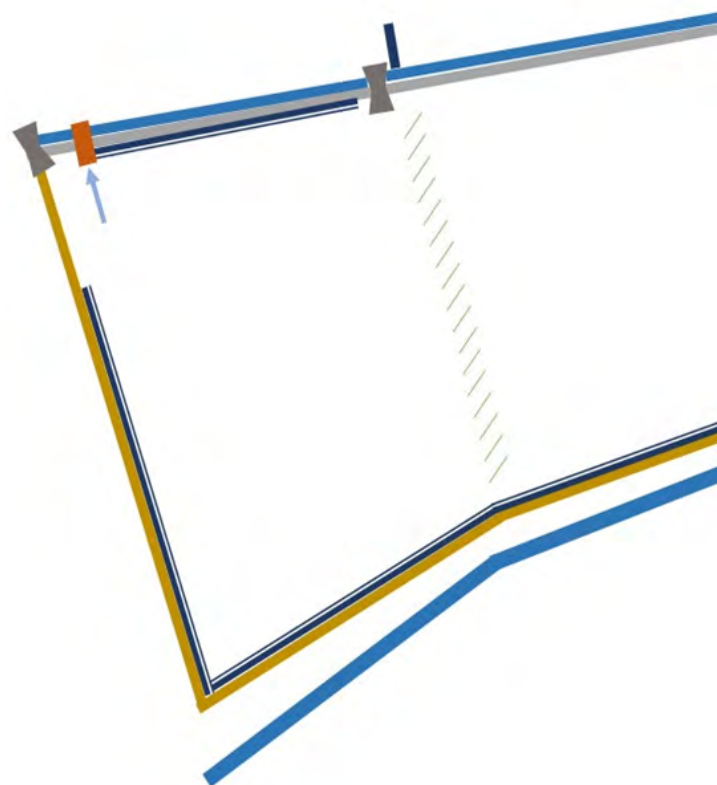
Für die Baumaßnahmen zur Einrichtung der Rohrkolbenfläche war keine Baugenehmigung erforderlich. Die Installation von Solarmodulen für eine solarbasierte Bewässerungsanlage erforderte jedoch einen Bauantrag beim Bauamt, da gebäudeunabhängige Solaranlagen nur bis zu 3 m Höhe und 9 m Gesamtlänge verfahrensfrei sind und die Gesamtlänge überschritten wurde (Landesbauordnung Mecklenburg-Vorpommern § 61 LBauO M-V).

Bauliche Umsetzung: Flächenvorbereitung & Einrichtung

Für die Anlage der Rohrkolbenfläche wurden verschiedene bauliche Maßnahmen (Abb. 7.4) mit einer Bauzeit von 7,5 Wochen und Bruttokosten von 15.000 EUR/ je ha vorgenommen:

1. Bodenabtrag

Mit einer Schieberaube wurden Höhenunterschiede auf einer Teilfläche angeglichen. Das Material konnte für eine Grabenverfüllung sowie für die Anlage der Verwallung verwendet werden.



2. Bau Verwallung (Abb. 7.5)

Um das Wasser in der Fläche zu halten, wurde eine Verwallung mit einer Höhe von etwa 1,25 m gebaut. Durch mehrere Zufahrten mit abgeflachter Böschung und einer Kronenbreite von 3 m kann diese mit entsprechender Technik befahren und zum Wenden sowie für den Biomasseabtransport genutzt werden.

3. Anlage von Gräben

Für das Auffangen von Dränwasser wurden Außengräben angelegt, sodass die weiterhin als entwässertes Grünland genutzte Umgebung nicht von dem erhöhten Wasserstand in der Rohrkolbenfläche beeinflusst wird. Innerhalb der Fläche wurde ebenfalls ein flacher Graben ausgehoben, um das hineingepumpte Wasser effektiver zu verteilen. Ein alter Entwässerungsgraben, der die Fläche teilte, wurde verfüllt. Somit wurde eine durchgängige Befahrbarkeit ermöglicht.

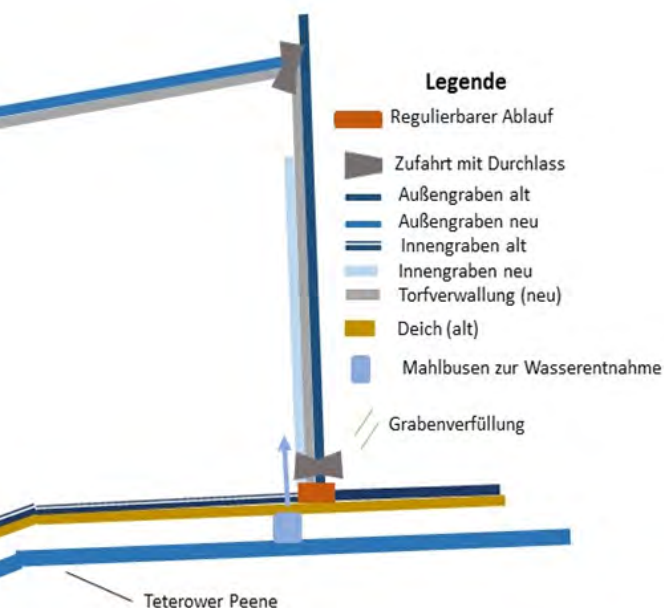


Abb.7.4: Übersicht Flächeneinrichtung Rohrkolbenanbau mit Baumaßnahmen.

4. Dränrohre

Um ein unkontrolliertes Abfließen von Wasser zu verhindern, wurden eine Suchschachtung von Dränrohren durchgeführt sowie Rohre gekappt und verfüllt.

5. Bewässerungsinfrastruktur

Zur Wasserentnahme wurde ein kleiner Mahlbusen am naheliegenden Gewässer angelegt. Dort wurde ein Steg zur Betreuung und Befestigung der Tauchpumpen gebaut. An dieser Stelle wurde ein Zulauf mit einem Druckrohr durch den Deich verlegt (Abb. 7.6). Um Zielwasserstände variabel einstellen zu können, wurden zwei regulierbare Überläufe (Mönche) eingesetzt.



Abb. 7.5: Bau der Verwallung. Foto: T. Dahms (2019)



Abb.7.6: Druckrohr und Überlauf. Foto: J. Neubert (2020)

7. Umsetzungsbeispiele

Pflanzung (2019) und Saat (2020)

Pflanzgut: Eine auf Wasserpflanzen spezialisierte Gärtnerei zog 50.000 Rohrkolben-Setzlinge (*Typha latifolia* & *Typha angustifolia*) heran und lieferte diese in Multi-Topfpaletten an (Abb. 7.7).

Maschinelle Pflanzung: Die Pflanzung erfolgte mit zwei Forstpflanzmaschinen in Reihenabständen von 2 m und mit Pflanzabständen innerhalb der Reihe von 0,5 sowie 1 m (Abb. 7.8). Direkt im Anschluss wurde der Wasserstand durch Zupumpen von Wasser angehoben. Es wurde ein flurnaher Wasserstand mit möglichst geringem Überstau eingestellt.

Entwicklung des Pflanzenbestandes und Nachsaat: Die späte Pflanzung am Ende der Vegetationsperiode und Vogelfraß führten zu einer vergleichsweise schlechten Etablierung der gepflanzten Setzlinge in der ersten Jahreshälfte 2020. Nur etwa ein Drittel des Bestandes hatte sich gut entwickelt und zeigte teilweise Ausläuferbildung und Kolbenentwicklung. Ein Schließen der Bestandslücken wurde daher mit einer Hand- und Drohnensaat unterstützt (Abb. 7.9). Mithilfe eines



Abb. 7.7: Abladen des Pflanzguts. Foto: J. Neubert (2019)



Abb. 7.9: Drohne mit Dosierer zur Aussaat. Foto: Dahms, T. (2020)

Dosierers konnte bei einer Flughöhe von 4 – 5 m zielgenau pilliertes Saatgut verteilt werden. Parallel hierzu konnte die Keimung von Rohrkolben aus der Samenbank beobachtet werden, die durch schwankende Wasserstände mit Überstau und Trockenfallen stimuliert wurde. Es gibt größere Bereiche mit Mischbeständen, z.B. mit Rohrglanzgras. Die Entwicklung des Pflanzenbestandes wird in Abb. 7.12 bis 7.15 dargestellt.

Wassermanagement: Während der Vegetationsperiode (April – September) musste je nach Witterung zugewässert werden. Da kein Anschluss an das Stromnetz besteht, musste eine dezentrale Lösung gefunden werden. Nachdem es im Jahr 2020 noch Schwierigkeiten mit der Einstellung des Wasserstandes durch mangelnde Verfügbarkeit von Technik gab, konnte im Sommer 2021 ein bedarfsgerechtes Bewässerungssystem installiert werden. Eine solarbasierte Grundversorgung wird durch ein dieselbetriebenes Notstromaggregat bei höherem Wasserbedarf ergänzt. Zur ersten maschinellen Ernte wurde bereits zwei Monate im Voraus damit begonnen, den Wasserstand auf ‚in Flur‘ absinken zu lassen. Damit sollte die Befahrbarkeit der Fläche erhöht werden.



Abb. 7.8: Pflanzung mit Forstpflanzmaschine. Foto: T. Dahms (2019)

Erste Ernte (2021)

Im Dezember 2021 wurde eine erste maschinelle Probeernte auf ca. 1,5 ha durchgeführt. Die Biomasse wurde getrennt in zwei Bereichen mit einem Typha-Dominanzbestand bzw. einem Typha-Rohrglanzgras-Mischbestand geerntet. Eingesetzte Spezialtechnik: Raupenbasierter Softrak 120 (Firma Loglogic) mit Häcksler im Frontanbau (ELHO double chopper) und aufgesatteltem 11 m³ Bunker (Abb. 7.10).



Abb. 7.10: Erste Rohrkolbenernte als gehäckselte Biomasse. Foto: S. Wichmann (2021)

Die Verladung der Biomasse erfolgte mit einem Forstkran auf einem Überladeplatz am Flächenrand auf mineralischem Untergrund und wurde mit herkömmlicher Landtechnik zum Trocknen abtransportiert (Abb. 7.11).



Abb. 7.11: Verladen von gehäckselter Rohrkolbenbiomasse. Foto: T. Dahms (2021)

Bilderreihe Flächenentwicklung Rohrkolbenanbau 2019 – 2021 (alle Fotos: T. Dahms):



Abb. 7.12: Rohrkolbenfläche bepflanzt und vernässt im Oktober 2019.



Abb. 7.14: Ende 1. Vegetationsperiode Rohrkolbenfläche November 2020.



Abb. 7.13: Beginn 1. Vegetationsperiode Rohrkolbenfläche Mai 2020.



Abb. 7.15: Erste Ernte Rohrkolbenfläche Dezember 2021.

7. Umsetzungsbeispiele

7.2 Praxisanbau von Torfmoos (*Sphagnum*) – Demonstrationsfläche „Hankhauser Moor“ bei Rastede, LK Ammerland (Niedersachsen)

Inspiriert von der in Kanada entwickelten Methode der Übertragung von Torfmoosvegetation für die Restauration von Torfabbauflächen (sog. ‚moss layer transfer technique‘, Quilty & Rochefort 2003) wurde 2004 auf ca. 1.200 m² die erste Pilotfläche zum Torfmoos-Anbau in der Esterweger Dose (LK Cloppenburg, Niedersachsen) angelegt und über 10 Jahre wissenschaftlich begleitet (Gaudig et al. 2017). In Deutschland haben Hochmoorgrünlandflächen, die in Niedersachsen ca. 90.000 ha umfassen, ein weitaus größeres Flächenpotential für Torfmoos-Paludikultur als Torfabbauflächen (~ 500 ha) (Wichmann et al. 2017). Deshalb wurde nach dem ersten erfolgreichen Pilotversuch auf einer Torfabbaufläche im Jahr 2011 eine weitere Demonstrationsfläche auf einer bis dahin intensiv als Hochmoorgrünland genutzten Fläche eingerichtet. Sie befindet sich im Hankhauser Moor, das ca. 900 ha groß und in den Moor-komplex Delfshausen-Ipwegermoor-Komplex eingebettet ist. Dieser umfasst insgesamt eine Fläche von ca. 4.500 ha, befindet sich am Geestrand und besteht aus mehreren ineinander übergehenden Hochmooren, die vorwiegend landwirtschaftlich (vor allem als Grünland) genutzt werden. Im Osten schließen sich weitere ausgedehnte landwirtschaftlich genutzte Hochmoorflächen im Landkreis Wesermarsch an. Die Torfmächtigkeit im Hankhauser Moor beträgt ca. 1,5 – 2 m, eine Weißtorfauflage (schwach zersetzter Torfmoos-Torf) ist weitgehend noch vorhanden. Teilbereiche des Moores liegen nach jahrzehntelanger Entwässerung bereits unter dem Meeresspiegel. Ein Vorfluter führt das Wasser in die Jade und den Jadebusen ab.

Als Vorstudie für die Beantragung einer Torfabbaugenehmigung wurde ein Integriertes Gebiets-Entwicklungs-konzept erstellt (Hofer & Pautz 2005),

so dass eine umfangreiche Analyse über das Gebiet vorlag. Der Eigentümer (Deutsche Torfgesellschaft mbH, DTG) hat zunächst eine ca. 4 ha große Fläche zur Verfügung gestellt, die 2011 von Hochmoorgrünland in eine Torfmoos-Paludikultur umgewandelt wurde. Diese Fläche wurde 2016 um 10 ha und 2020 um 3 ha auf insgesamt 17 ha Gesamtfläche erweitert. Die Demonstrationsfläche wurde und wird in drei Projekten umfangreich und vielseitig wissenschaftlich begleitet (MOOSGRÜN, MOOSWEIT, OptiMOOS). Dabei ist die Torfwerk Moorkultur Ramsloh GmbH & Co KG. als Gesellschafter der DTG und damit Mit-Flächeneigentümer sowie als Flächenbewirtschafter der wichtigste Praxispartner.

Im Folgenden werden detaillierte Informationen zum Genehmigungsverfahren, zur Machbarkeitsstudie sowie zur Flächeneinrichtung gegeben.

[Genehmigungsverfahren Torfmoos-Praxisanbau im Hankhauser Moor](#)

Beteiligte Behörden

1. Amt für Umwelt und Wasserwirtschaft
LK Ammerland
2. Amt für Bauwesen und Kreisentwicklung

Schritte im Genehmigungsverfahren zur Einrichtung

0. Kontaktaufnahme mit Beteiligten & Vorort-Termine mit Behörden
1. Genehmigungen: Naturschutz- und wasserrechtliche Genehmigung, Baugenehmigung

Vorliegende Unterlagen

- Integriertes Gebiets-Entwicklungs-konzept „Hankhauser Moor“ inkl. Untersuchungen zur Vegetation, Fauna, Hydrologie, Torfmächtigkeiten, Torfstratigraphie

Eingereichte Unterlagen (durch Flächeneigentümer)

- Antrag auf wasserrechtliche Erlaubnis
- Antrag auf naturschutzrechtliche Erlaubnis
- Bauantrag

Grundlage für Genehmigung aus naturschutzfachlicher Sicht

- Kein Schutzstatus nach FFH, NSG, LSG, geschützte Tier- und Pflanzenarten o.ä. vorhanden, keine Einordnung in Förderkulisse Naturschutzgerechte Grünlandnutzung
- Landschaftsstruktur bleibt erhalten, Höhe der Dämme darf 1 m nicht überschreiten

Grundlage für Genehmigung aus wasserrechtlicher Sicht

- Antrag auf wasserrechtliche Erlaubnis zur Entnahme von Oberflächenwasser aus der Schanze (Vorfluter) mit max. 25.000 m³ je Jahr (für 6,6 ha Netto-Produktionsfläche)
- Tatsächliche Wasserentnahme wird erfasst
- Keine negativen Auswirkungen auf Nachbargrundstücke und Gewässersystem
- Wasserentnahme stellt nach §8 in Verbindung mit §§ 9 und 10 WHG eine Gewässerbenutzung dar, Kostenentscheidung nach Nds. Verwaltungskostengesetz und Allg. Gebührenordnung

Vorstudie für Torfmoos-Praxisanbau im Hankhauser Moor

Nach Integriertem Gebiets- und Entwicklungskonzept Hankhauser Moor – Hydrologie/Folgelandschaft (Hofer & Pautz 2005) wurde die Versuchsfläche als mesophiles Grünland mäßig feuchter Standorte, Mähweide eingestuft. In Vorbereitung auf die Einrichtung der Demonstrationsfläche wurden im Rahmen der Forschungsprojekte durch die Universität Greifswald bzw. Partnern folgende Daten flächenbezogen erhoben:

- Erstellung eines Geländemodells durch Einmessung mittels Differential-GPS
- Torfstratigraphie, Vegetation
- Untersuchung der chemischen und physikalischen Eigenschaften der Torfe
- Erfassung der hydrologischen Bedingungen (Literaturrecherche, Erstellen einer ersten Standortwasserbilanz) zur Ermittlung des Abstandes zwischen den Bewässerungsgräben sowie Ermittlung des Wasserbedarfs.



Oberbodenabtrag und Schaffen einer planen Oberfläche

- Entscheidung über das Produktionssystem (mit oder ohne Fahrdämme)
- Abstecken (Größe) und Nivellieren (Tiefe) der zukünftigen Torfmoos-Produktionsflächen
- Transport des Baggers zur Fläche
- Abtrag der Grasnarbe bzw. des mineralisierten, aufgekalkten und nährstoffreichen Oberbodens durch den Bagger (ca. 30 - 50 cm, Laser-kontrolliert), um eine plane Oberfläche auf den Torfmoos-Produktionsflächen zu erhalten und so eine dauerhaft gute Wasserversorgung für die Torfmoose zu gewährleisten



Installierung der Infrastruktur für das automatische Wassermanagement

- Ausheben kleiner Gräben (ca. 50 cm breit, 50 cm tief)
- Installierung von Überläufen für überschüssiges Wasser
- Installierung von Pumpen und unterirdischen Verbindungsrohren für die Bewässerung
- Installierung von unterirdischen Kabeln, Sensoren und Aufstellen eines Containers als Schalt- und Kontrollzentrale



Bau von Fahrdämmen als Infrastruktur für Management und Ernte der Torfmoos-Produktionsflächen

- Formen der Fahrdämme durch Verwendung des Materials vom Oberbodenabtrag



Beschaffung und Lagerung von Saatgut

- Beschaffung von Torfmoosen » Saatgut
- Beschaffung von Stroh » Abdeckung



Ausbringen von Torfmoos-Fragmenten und Stroh

- Transport von Maschinen, Torfmoos und Stroh zur Fläche
- Beladen eines auf einer Pistenraupe montierten Stallungstreuers mit Greifbagger
- Ausstreuen der Torfmoose und manuelle Nachbereitung zur gleichmäßigeren Ausbringung mit Laubbesen
- Ausstreuen von Stroh zur Abdeckung der Torfmoose
» Etablierung der Torfmoos-Produktionsflächen



Wiedervernässung

- Erstbefüllen der Bewässerungsgräben
- Einstellen der Überläufe, Einbau von Rückstauklappen
» sofortige Anhebung des Wasserstandes, um die Austrocknung der Torfmoose zu minimieren

Flächenmanagement und Ernte beim Torfmoos-Praxisanbau im Hankhauser Moor

Pflegemahd

- Umbau eines Baggers mit 15 m langem Arm und ca. 4 m breitem Mähkorb
- Mahd der Torfmoos-Produktionsflächen mit umgebautem Bagger vom Fahrdamm aus: Abschneiden von Gefäßpflanzen über der Torfmoos-Oberfläche, Ablagerung des Mahdgutes auf dem Fahrdamm; Häufigkeit: ca. alle 6 – 8 Wochen in der Vegetationsperiode
- Mulchen der Fahrdämme mit Traktor und angehängtem Mulcher, Verbleib des Mulchmaterials auf dem Fahrdamm; ca. 6x im Jahr

Wassermanagement

- Einstellen der Wasserstände: Ansteigend mit dem Wachstum der Torfmoose; Kontrolle des automatischen Bewässerungssystems
- Pflege der Gräben mittels Bagger und Mähkorb vom Fahrdamm aus, Ablagerung des Grabenaushubs auf dem Fahrdamm; 1x jährlich; Mittelgräben können teilweise mit Torfmoosen zuwachsen, wenn eine Bewässerung durch den Torfmoosrasen erfolgen kann

- Wartung der Pumpen und des Messsystems (z.B. Reparatur nach Blitzeinschlag)
- Spülen der Verbindungsrohre zwischen den Torfmoos-Produktionsflächen
- Ggf. Schutz vor Bisamratten/Nutrias

Wartung der Infrastruktur

- Wartung der Zuwegung inkl. Brücken
- Wartung des Containers als zentrale Schaltstelle und Ausbesserung seines Unterbaus

Ernte

- Umbau eines Baggers mit 15 m langem Arm und ca. 2 m breitem Mähkorb
- Ernte der Torfmoos-Produktionsflächen mit umgebautem Bagger vom Fahrdamm aus: Abschneiden der Torfmoose in ca. 5 – 7 cm Tiefe (erste Ernte 5 Jahre nach der Etablierung, Abb. 7.16)
- Abtransport der geernteten Torfmoos-Biomasse mit einem Dumper
- Erntehäufigkeit abhängig von der Regenerationsfähigkeit des abgeschnittenen Torfmoosrasens



Abb. 7.16: Erste maschinelle Ernte von Torfmoosen mit Mähkorb im Sommer 2016. Fotos: P. Schroeder

7. Umsetzungsbeispiele

Weiterführende Literatur über die Torfmoos-Paludikulturfläche im Hankhauser Moor

Information zu Kosten der Einrichtung siehe Kapitel 2.4, Abschnitt Anbau-Paludikultur mit Torfmoos

Information zur Verwendung von und Märkte für Torfmoos-Biomasse siehe Kapitel 3.1.6

Brust, K., Krebs, M., Wahren, A., Gaudig, G. & Joosten, H. (2018): The water balance of a Sphagnum farming site in north-west Germany. *Mires and Peat*, 20(10).

Gaudig, G. & Krebs, M. (2016): Torfmooskulturen als Ersatzlebensraum – Nachhaltige Moornutzung trägt zum Artenschutz bei. *Biologie in unserer Zeit*, 46 (4), 251–257.

Gaudig, G., Krebs, M. & Joosten, H. (2020): Sphagnum growth under N-saturation: interactive effects of water level and P or K fertilization. *Plant Biology*, 22(3).

Gaudig, G., Krebs, M., Prager, A., Wichmann, S. et al. (2018): Sphagnum farming from species selection to the production of growing media: a review. *Mires and Peat*, 20(13).

Günther, A., Jurasinski, G., Albrecht, K., Gaudig, G., Krebs, M. & Glatzel, S. (2017): Greenhouse gas balance of an establishing Sphagnum culture on a former bog grassland in Germany. *Mires and Peat*, 20(2).

Muster, C., Gaudig, G., Krebs, M. & Joosten, H. (2015): Sphagnum farming: the promised land for peat bog species? *Biodiversity and Conservation*, 24.

Temmink, R.J.M., Fritz, C., van Dijk, G., Hensgens, G., Lamers, L.P.M., Krebs, M., Gaudig, G. & Joosten, H. (2017): Sphagnum farming in a eutrophic world: The importance of optimal nutrient stoichiometry. *Ecological Engineering*, 98.

Vroom, R., Temmink, R.J.M., van Dijk, G., Joosten, H., Lamers, L.P.M., Smolders, A.J.P., Krebs, M., Gaudig, G. & Fritz, C. (2020): Nutrient dynamics of Sphagnum farming on rewetted peat grassland in NW Germany. *Science of the Total Environment*, 726, 138470.

Wichmann, S., Krebs, M., Kumar, S. & Gaudig, G. (2020): Paludiculture on former bog grassland: Profitability of Sphagnum farming in North West Germany. *Mires and Peat*, 26(08).

Wichmann, S., Prager, A. & Gaudig, G. (2017): Establishing Sphagnum cultures on bog grassland, cut-over bogs, and floating mats: procedures, costs and area potential in Germany. *Mires and Peat*, 20(3).

7.3 Umsetzung von Wiedervernässung mit extensiver Beweidung auf feuchten bis nassen Standorten im Schwäbischen Donaumoos (Gundelfinger Moos, Bayern)

Das Schwäbische Donaumoos im Landkreis Günzburg an der Landesgrenze zwischen Bayern und Baden-Württemberg umfasst mit 5.000 ha Kerngebiet das Leipheimer und das Gundelfinger Moos. Die Arbeitsgemeinschaft Schwäbisches Donaumoos e.V. (ARGE Donaumoos) wurde 1990 in Form eines Landschaftspflegeverbandes gegründet mit dem Ziel, im Schwäbischen Donaumoos die „Erhaltung und Entwicklung einer offenen, ökologisch intakten Ried- und Flusslandschaft mit naturschutzverträglicher Landnutzung“ zu fördern. Nach der Wiedervernässung des Leipheimer Moores im NSG ist nun eine Wiedervernässung des 600 ha großen Gundelfinger Moores auf größtenteils landwirtschaftlich genutzten Flächen geplant. In enger Zusammenarbeit mit der Landwirtschaft soll insbesondere in den Randbereichen eine landwirtschaftliche Nutzung erhalten bleiben. Hier möchte die ARGE Donaumoos vor allem die extensive Beweidung und Anbau-Paludikultur fördern. Je nach realisiertem Wasserstand nach Wiedervernässung, kann Torferhalt oder weiterhin schwache Torfzehrung inkl. einer erheblichen Minderung der THG-Emissionen erreicht werden. Es ist davon auszugehen, dass die Gebiete mit extensiver Nutzung teilweise weiterhin schwach torfzehend sein werden. Da Paludikultur nur eine torferhaltende Bewirtschaftung umfasst, kann die Bezeichnung nicht überall angewendet werden. Das Vorhaben wird hier dennoch vorgestellt, da die Weidenutzung von Feuchtwiesen in den Randbereichen von Paludikulturflächen oder auf nicht vollständig vernässbaren Flächen eine Option darstellt, zu deutlichen THG-Emissionsminderungen führen kann und Synergien mit dem Naturschutz schafft. Des Weiteren sollen die wertvollen Erfahrungen der Vernässung eines großen zusammenhängenden Gebiets, die gemeinsame Gestaltung mit den Landnutzenden und die

Lösungsfindung mit den Eigentümer*innen vorgestellt werden.

Planung, Genehmigung und Umsetzung der Wiedervernässung

Ziel des gesamten Vorhabens ist die Wiederherstellung eines moortypischen Wasserhaushalts im Gundelfinger Moos mit anschließender natürlicher Vegetationsentwicklung und in Zukunft auch Umsetzung von Anbau-Paludikultur außerhalb der Schutzgebiete. In diesem gebietsorientierten Ansatz wird versucht, mit effizienten und kostengünstigen Maßnahmen den Wasserhaushalt wiederherzustellen. Ein ganzjährig geringer Flurabstand von < 20 cm wird angestrebt. Allerdings hat sich das Moorgebiet aufgrund der Sackung und Umgestaltung so verändert, dass es mit diesen Mitteln nur teilweise bis zur Geländeoberkante vernässt werden kann. Andernfalls müssten größere Bereiche permanent überstaut werden. Auch reichen der Rückbau der Entwässerung und das vorhandene Wasserdargebot im Sommer für die Erreichung ganzjährig hoher Wasserstände voraussichtlich nicht aus. Zur Deckung des Defizites wurden verschiedene Varianten zur Bewässerung geprüft und momentan auf zwei aufeinanderfolgende Maßnahmen fokussiert. Für die Maßnahmen 1 und 2 wurde im Herbst 2020 ein Antrag der Regierung von Schwaben zur Wiedervernässung des Gundelfinger Moores am Landratsamt Dillingen eingereicht (Stand Juli 2022: in Bearbeitung). Der Wasserrechtsantrag untergliedert sich in:

- Maßnahme 1: Ausbau oberirdischer Gewässer (**Planfeststellung**): Beseitigung von Gräben durch Verfüllen bzw. partielles Verfüllen (Abb. 7.17)
- Maßnahme 2: Gewässerbenutzung (**gehobene Erlaubnis**): Einleiten von Oberflächenwasser aus den Nordgräben in das Gundelfinger Moos

7. Umsetzungsbeispiele

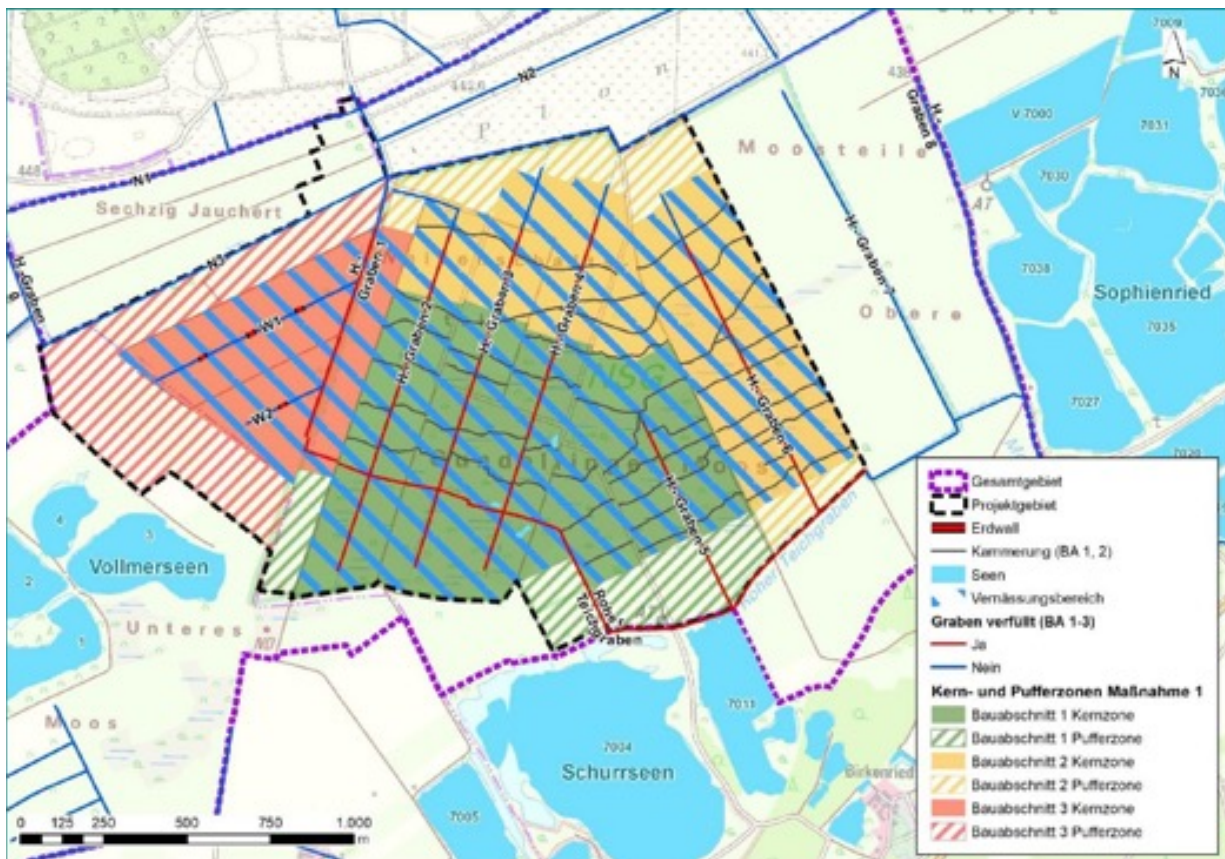


Abb. 7.17: Übersicht über die Maßnahme 1: Rückbau der Entwässerung im Gundelfinger Moos (Verfüllung der Gräben bis 30 cm ü. GOK; Erstellung einer Kammerung). Quelle: ARGE Donaumoos; erstellt von Anders & Raum.

Flurneuordnung, Rahmenvereinbarung

Nach Vorliegen der wasserrechtlichen Genehmigungen soll ein **Flurneuordnungsverfahren** eingeleitet werden, das eine Nutzungsentflechtung herbeiführen und die Kernzone in öffentliches Eigentum überführen (möglichst 100 %) soll. Das Gebiet ist derzeit im Besitz von über 300 Eigentümer*innen.

Entschädigungsfragen regelt eine bereits abgeschlossene „**Rahmenvereinbarung**“⁵² zwischen dem Wasserrechtsträger (Regierung von Schwaben vergibt zur Betreuung des Vorhabens einen Auftrag an die ARGE Donaumoos) und den Bauernverbänden. In dieser Rahmenvereinbarung wer-

den die Modalitäten eines Schadensausgleiches bei projektbedingten Nässeschäden auf Privatflächen geregelt. Hauptpunkte sind:

- Die Beweislast hat der Projektträger.
- In der Kernzone (Abb. 7.18) soll möglichst zu 100 % öffentliches Eigentum liegen. Es bleibt eine extensive Nutzung möglich. Im Normalfall, d.h. bei Vernässung öffentlicher Flächen, ist keine Entschädigung vorgesehen. Auf Privatflächen: Ausgleichszahlungen wie in Pufferzone.
- In der Pufferzone (Abb. 7.18) wird es weiterhin privates Eigentum und damit mögliche Betroffenheit geben. Die Eigentümer*innen haben der Vernässung zugestimmt. Es wird eine Nutzungsanpassung gemäß Feuchte-

⁵² https://www.arge-donaumoos.de/fileadmin/Media/user_upload/EndfassungRahmenvereinbarungmitUnterschriften.pdf

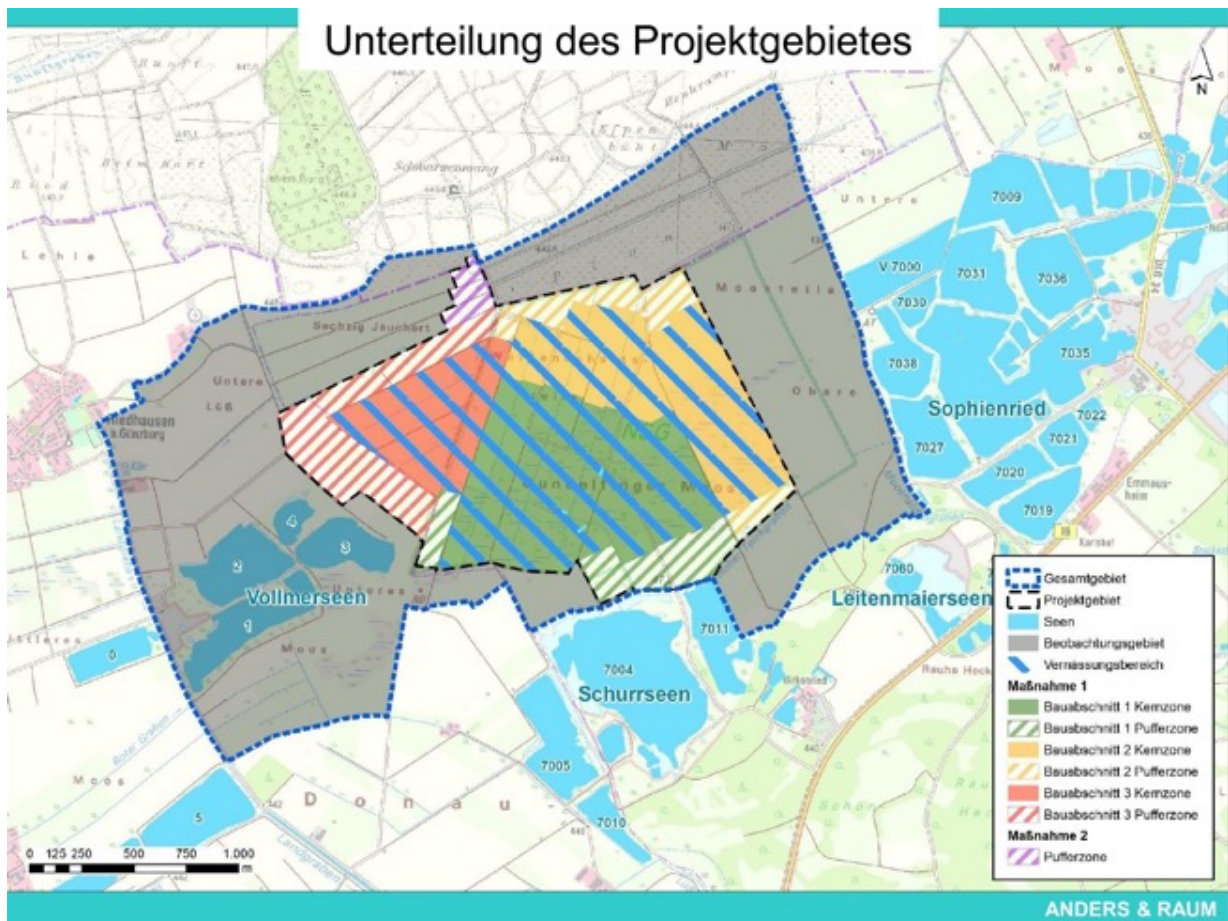


Abb. 7.18: Übersicht über das Gesamtvorhaben mit Beobachtungsgebiet, Kernzone und Pufferzone. Quelle: ARGE Donau-moos, erstellt von Anders & Raum.

stufe (landbauliche Zielnutzung) empfohlen und mit staatlichen Förderprogrammen oder sonstigen Geldern unterstützt, die Teilnahme bleibt aber freiwillig. Tritt ein Vernässungsschaden ein, kann dieser durch den Bewirtschaftenden angezeigt werden. Es wird ein Vernässungsausgleich auf Basis der landbaulichen Zielnutzung ermittelt. Das Vorliegen einer Vernässung wird durch die Schätzkommision festgestellt. Es wird bei festgestelltem Schaden ein einmaliger Vernässungsausgleich gemäß Tabelle ohne weitere Nachweise durch den Bewirtschafter gewährt.

- Im Beobachtungsgebiet (Abb. 7.18) bleiben die Eigentumsflächen und Nutzung wie sie sind. Eine Zustimmung der Eigentümer*innen zu den Maßnahmen war nicht nötig. Es wird eine Nutzungsanpassung gemäß Feuchtestufe (landbauliche Zielnutzung) nicht explizit angestrebt, aber gern gesehen und mit staatlicher Förderung unterstützt. Es wird eine Vernässungsschädigung auf Antrag und im Einzelfall nach BBV-Schätzrichtlinien gewährt, aber nur für nachgewiesene projektbedingte Vernässungen.

7. Umsetzungsbeispiele

Koordination & Kommunikation

Seit ca. 15 Jahren wird das Vorhaben vorbereitet, koordiniert und begleitet mit einer umfangreichen Öffentlichkeitsarbeit und Kommunikation durch die ARGE Donaumoos. Durch die langjährige Arbeit besteht ein Vertrauensverhältnis zu allen Akteuren. Wichtige Beiträge sind:

- Eigentümerversammlungen
- Feldtage
- Thematische Runde Tische zur Flurneuordnung, Bewirtschaftung nasser Flächen
- Info-Veranstaltungen für Eigentümer*innen, Landnutzende, Kommunen, Fachbehörden und Akteure aus dem Naturschutz, interessierte Bürger*innen
- Öffentlichkeitsarbeit: Webseite, Info-Briefe, Artikel
- Beratungen

Die ARGE Donaumoos initiierte die Gründung eines Vereins „Naturweiden Donaumoos e.V.“ zum Fach- und Erfahrungsaustausch zwischen den Landwirt*innen untereinander, aber auch mit interessierten Bürger*innen aus der Umgebung. Es finden z.B. Tiertausche statt, aber auch Wanderungen und Fahrradtouren zu den Weidetieren, bei denen über Beweidung von Feuchtflächen und deren Vorteile diskutiert wird.

Die Umsetzung der Wiedervernässungsmaßnahmen wird mit Mitteln aus dem KLIP-Programm Bayern und Geldern aus einem Staatsvertrag zwischen Baden-Württemberg und Bayern finanziert. Die umfangreiche Arbeit der ARGE Donaumoos zur Koordination, Beratung und Umsetzung wird mit Mitteln aus unterschiedlichen Projekten und Geldern aus dem Staatsvertrag und der Regierung von Schwaben unterstützt.

Umstellung der Nutzung auf Beweidung von Feucht- und Nasswiesen

Die ARGE Donaumoos sucht, berät und unterstützt Landwirt*innen bei der Einrichtung von Weideflächen für die bereits vernässten und die in Zukunft vernässten Moorflächen. Auf der Webseite der ARGE Donaumoos werden umfangreiche Informationen und Erfahrungen geteilt⁵³. Das Projekt „LaNu“⁵⁴ unterstützt die/den Landwirt*in, indem die Organisation und die Anlagen (Unterstand, Futterstellen, Zäune etc.) finanziert werden. Die/der Landwirt*in sorgt für den Aufbau und die Beschaffung der Tiere. Ihm wird überlassen, welche Rasse er einsetzt, empfohlen werden Schottisches Hochland, Dexter und Wasserbüffel (siehe Hinweise unten), mit einer Besatzdichte von 0,6 bis max. 1 GVE je ha (in trockeneren Bereichen). Gebiete mit ganzjährig hohen Wasserständen können nur mit Wasserbüffeln ganzjährig beweidet werden. Die anderen Tiere sind eher für die feuchteren Standorte geeignet (keine Paludikultur).

Geeignete Tiere für eine Ganzjahresbeweidung:

1. Schottisches Hochlandrind: robust, widerstandsfähig, genügsam; Ganzjahresbeweidung ohne Unterstand möglich, wird aber meist vom Tierarzt trotzdem gefordert; kein selektiertes Fraßverhalten
2. Wasserbüffel: sehr ruhig und gelassen, verträgt sehr nasse Flächen, frisst Binsen, Rohrkolben, Schilf; benötigt Unterstand
3. Eingeschränkt: Dexter und andere leichte Rinderrassen; Ganzjahresbeweidung nur eingeschränkt möglich; Unterstand nötig

⁵³ Weitere Infos: <https://www.arge-donaumoos.de/arbeitsfelder/themen/landwirtschaft/beweidungsinfos/>

⁵⁴ Projekt „LaNu“ = Landnutzung, gefördert von der Regierung von Schwaben. Ziel: extensive Grünlandnutzung. Jeweils 5 Jahre Förderperioden.

Weideausstattung

Zaun: Im Schwäbischen Donaumoos werden entweder Metallpfosten oder wasserbeständige Holzpfosten mit Kunststoffisolatoren eingesetzt. Die Holzpfosten haben in der Regel einen besseren Halt im Boden, müssen aber nach einer gewissen Zeit (10 – 20 Jahre) z.T. ausgetauscht werden.

Die Instandhaltung ist aufwendiger als bei einer herkömmlichen Weide, da das Gras sehr wüchsig ist und die Zauntrasse öfters freigemäht werden muss. Ausreichend starke Weidezaungeräte erleichtern die Pflege, da sie Bewuchs-unempfindlicher sind, ebenso Strommessgeräte, die einen Spannungsabfall aufs Handy melden.

Wasserversorgung: Eine gute Wasserversorgung der Tiere ist wichtig, da bei trockener Witterung Oberflächenwasser oder das Wasser in den Gräben nicht mehr verfügbar sein kann. Im Schwäbischen Donaumoos werden schwimmergesteuerte 12-Volt-Pumpen genutzt, die an den solarbetriebenen Zaunbatterien angeschlossen sind und für eine ausreichende Wasserzufuhr sorgen. Um die Tränke sollte der Boden befestigt werden. Wenn vorhanden, werden offene Wasserstellen von den Tieren bevorzugt.

Zufütterung: Erfolgt mit gebietseigenem Futter in der Regel in den Monaten Oktober bis Ende April (Abb. 7.19 links).



Abb. 7.19: Links: Schottische Hochlandrinder werden im Winter zugefüttert. Rechts: Unterstand für Wasserbüffel auf befestigter Liegefläche. Fotos: ARGE Donaumoos



Abb. 7.20: Eine befestigte Zuwegung mit Schotter zu den Liegeflächen, Wasserversorgung und Fütterungsstelle. Foto: ARGE Donaumoos

7. Umsetzungsbeispiele

Liegeflächen & Zuwegung: Liegeflächen und ausreichend Schatten müssen den Tieren zur Verfügung stehen, z.B. mit Weidezelten, oder einfachen Unterständen aus Holzstämmen. Finanziert über unterschiedliche Projekte, wurden zudem mit Schotter befestigte Liegeflächen angelegt (Abb. 7.19 rechts). Dort werden die Tiere gefüttert, getränkt und behandelt. Auch der Weg dorthin muss ggf. befestigt werden. Somit ist die unabdingbare Zuwegbarkeit zu den Tieren ganzjährig und bei jeder Witterung sichergestellt (Abb. 7.20). Auch Trittschäden im empfindlichen Moorboden um Futter- und Tränkestellen können so vermieden werden. Die Liegeflächen können vollständig rückgebaut werden.

Weidekugelschuss: Wird von der ARGE Donaumoos empfohlen und im Gebiet durchgeführt. Dieser ist nur bei einer Ganzjahreshaltung möglich. Der Weidekugelschuss ermöglicht einen stressfreien Tod für das Tier. Dadurch ist die Fleischqualität weitaus besser. Für den Halter und das Tier entfällt das Fangen, Transportieren und das Verbringen in eine fremde Umgebung. Es müssen die veterinärmedizinischen Vorgaben eingehalten werden.

Wirtschaftlichkeit & Finanzierung

Der Aufbau einer Mutterkuhhaltung dauert mehrere Jahre und die Landwirt*innen erwirtschaften kein Einkommen in diesem Betriebszweig bis ausreichend viele Tiere schlachtreif sind. Dem gegenüber stehen hohe Anschaffungskosten für die Tiere: Ein Wasserbüffel kostet zwischen 2.500 und 4.000 EUR, Schottische Hochlandrinder und Dexter zwischen 1.800 und 2.300 EUR. Der Einstieg in eine extensive Beweidung auf nassen Flächen ist daher für Landwirt*innen aktuell nur wirtschaftlich, wenn sie finanzielle und/oder organisatorische Unterstützung erhalten. Die Beweidung eines Hektars müsste mit mind. 1.200 EUR pro Jahr als Prämie für die ökologischen Leistungen honoriert wer-

den. In Bayern können Landwirt*innen über das Vertragsnaturschutzprogramm allerdings nur 420 EUR je ha für eine extensive Beweidung erhalten (Stand 2022). Deswegen unterstützt die ARGE Donaumoos mit der Bereitstellung der „Hardware“ für die Weideausstattung und bei der Flächenakquise.

Für die Unterstützung der Umsetzung der Beweidung können verschiedene Förderprogramme genutzt werden, wie Vertragsnaturschutzprogramme (VNP) und Kulturlandschaftsprogramme (KULAP). Die ARGE Donaumoos unterstützt durch Flächenakquise und Beratung.

Die Vermarktung kann als Direktvermarktung laufen (siehe auch Kapitel 3). Für den Ausbau eines Betriebszweiges sind im Vorfeld viele Auflagen und Investitionen zu tätigen: u.a. müssen ausreichend



Abb. 7.21: Tina Niess, Georg Wiedenmann und Winfried Bayer sind die BioMoos GbR. Foto: P. Roggenthin

Flächen verfügbar sein für das geplante Herdenwachstum (Weidefläche und Winterfutterflächen). Zudem muss die langfristige finanzielle Unterstützung über Förderprogramme der extensiven Beweidung gesichert sein.

Aus diesen Überlegungen heraus und unterstützt durch die ARGE Donaumoos, haben sich drei bäuerliche Betriebe 2018 zur **Biomooos GbR** zusammengeschlossen und ihre Flächen im Naturschutzgebiet Gundelfinger Moos zusammengelegt,

um die artenreichen Niedermoorwiesen mit Weidetieren zu erhalten (Abb. 7.21). Sie bewirtschaften zusammen 46 ha feuchte Moorwiesen, davon werden ganzjährig 26 ha mit Schottischen Hochlandrindern beweidet und auf 20 ha wird Winterfutter mit angepasster Grünlandtechnik gemäht. Mit Hilfe der Kooperation können effizienter Kräfte gebündelt und Risiko minimiert werden.

Mehr Infos: www.moorklimawirt.de

Ausführliche Informationen zur Planung und zum Umsetzungsstand siehe auch:

- <https://www.arge-donaumoos.de/arbeitsfelder/projektgebiete/gundelfinger-moos/>
- <https://www.arge-donaumoos.de/arbeitsfelder/themen/moor-wiedervernaessung/historie-und-bau-gundelfinger-moos/>

Literaturverzeichnis

- Abel, S., Barthelmes, A., Gaudig, G., Joosten, H., Nordt, A. & Peters, J. (2019):** Klimaschutz auf Moorböden – Lösungsansätze und Best-Practice-Beispiele. Greifswald Moor Centrum-Schriftenreihe, 03/2019.
- Agora Industrie, FutureCamp, Wuppertal Institut & Ecologic Institut (2021):** Klimaschutzverträge für die Industrietransformation: Kurzfristige Schritte auf dem Pfad zur Klimaneutralität der deutschen Grundstoffindustrie. Agora Industrie, Berlin, 120 S.
- Ahmad, S., Liu, H., Günther, A., Couwenberg, J. & Lennartz, B. (2020):** Long-term rewetting of degraded peatlands restores hydrological buffer function. *Science of The Total Environment*, 749.
- Amberger-Ochsenbauer, S. & Meinken, E. (2020):** Torf und alternative Substratausgangsstoffe. Hrsg. Von Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung. Bonn, 52 S.
- Atif, M. & Scholz, M. (2011):** Nutrient accumulation in *Typha latifolia* L. and sediment of a representative integrated constructed wetland. *Water, Air, & Soil Pollution*, 219 (1–4), 329–341.
- Audet, J., Zak, D., Bidstrup, J. & Hoffmann C.C. (2020):** Nitrogen and phosphorus retention in Danish restored wetlands. *Ambio* 49, 324–336.
- Awasthi, A., Singh, G., Dhyani, V., Kumar, J., Reddy, Y.S., Adarsh, V.P., Puthiyamadham, A., Mullepureddy, K.K., Sukumaran, R.K., Ummalyama, S.B., Sahoo, D. & Bhaskar, T. (2019):** Co-pyrolysis of phumdi and para grass biomass from Loktak Lake. *Bioresource technology* 285.
- Babula, P., Adam, V., Havel, L. & Kizek, R. (2009):** Noteworthy secondary metabolites naphthoquinones – their occurrence, pharmacological properties and analysis. *Current Pharmaceutical Analysis*, 5(1), 47–68.
- Baranyai, B. & Joosten, H. (2016):** Biology, ecology, use, conservation and cultivation of round-leaved sundew (*Drosera rotundifolia* L.). *Mires and Peat*, 18, 1 – 28.
- Baranyai, B., Krebs, M., Oehmke, C. & Joosten, H. (eingereicht):** Biomass productivity and yield of *Drosera* on cultivated *Sphagnum* in NW Germany. *Mires and Peat*.
- Barthelmes A., Abel S., Barthelmes K.-D., Couwenberg J., Kaiser M., Reichelt F., Tanneberger F. & Joosten H. (2021):** Evaluierung von Moor-Wiedervernässungen in Deutschland – Ergebnisse, Erfahrungen und Empfehlungen. *Naturschutz und Biologische Vielfalt*, 171, 121-148.
- Bayerischer Landtag (2019):** Anfragen zum Plenum zur Plenarsitzung am 27.November2019, Auszug aus Drucksache 18/5058: Frage Nummer 51 mit der dazu eingegangenen Antwort der Staatsregierung. Abgeordneter Christoph Skutella (FDP). Drucksache 18/3827.
- Becker, L., Wichmann, S., Beckmann, V. (2020):** Common Reed for Thatching in Northern Germany: Estimating the Market Potential of Reed of Regional Origin. *Resources*, 9 (12), 146.
- Birr, F., Abel, S., Kaiser, M., Närmann, F., Oppermann, R., Pfister, S., Tanneberger, F., Zeitz, J. & Luthardt, V. (2021):** Zukunftsfähige Land- und Forstwirtschaft auf Niedermooren – Steckbriefe für klimaschonende, biodiversitätsfördernde Bewirtschaftungsverfahren. Auszug aus den BfN-Skripten 616, bearb. Fassung. Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde und Greifswald Moor Centrum (Hrsg.). Eberswalde/ Greifswald, 148 S.

- BMEL (2022a):** Torfverwendung reduzieren – Klima schützen. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Webseite aufgerufen am 13.07.2022: <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/gartenbau/torf.html>
- BMEL (2022b):** DE - GAP-Strategieplan für die Bundesrepublik Deutschland.
- BMUV (2022):** Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz. Eckpunktepapier.
- BMWK, BMUW & BMEL (2022):** [Ausbau der Photovoltaik auf Freiflächen im Einklang mit landwirtschaftlicher Nutzung und Naturschutz](#). Eckpunktepapier. Bundesregierung, 2 S.
- Bozell, J.J. & Petersen, G.R. (2010):** Technology development for the production of biobased products from biorefinery carbohydrates — the US Department of Energy’s “Top 10” revisited. *Green Chem.* 12(4), 539.
- Brust, K., Krebs, M., Wahren, A., Gaudig, G. & Joosten, H. (2018):** The water balance of a *Sphagnum* farming site in north-west Germany. *Mires and Peat*, 20(10), 1–12.
- Bunzel-Drüke et al. (2019):** Naturnahe Beweidung und Natura 2000. Ganzjahresbeweidung im Management von Lebensraumtypen und Arten im europäischen Schutzgebietssystem NATURA 2000. Heinz Sielmann Stiftung, Duderstadt.
- Burgess, S., Leisen, J., Kraftschik, B., Mubarak, C., Kriegel, R. & Koros, W. (2014):** Chain Mobility, Thermal, and Mechanical Properties of Poly(ethylene furanoate) Compared to Poly(ethylene terephthalate). *Macromolecules* 47, 4, 1383–1391
- Carius, W. (2020):** Feststoffvergärung (Feststofffermentation). Vortrag auf der Online Informationsveranstaltung “Verwertungsmöglichkeiten von Biomasse aus nassen Mooren: Klimaschutz, Naturschutz und regionale Wertschöpfung, 10.+11. Dezember 2020.
- Carius et al. (2011):** Effizienzsteigerung von Grünlandsubstraten in der Biogasgewinnung unter Berücksichtigung naturschutzfachlicher Belange. Grünland. Hrsg. V. BUND Landesverband Niedersachsen e.V. Prinzhöfte.
- Cook, C.D.K., Gut, B.J., Rix, E.M. & Schneller J. (1974):** *Water Plants of the World*. Springer Dordrecht.
- Cruse, F., Dietz, W., Höller, M. & Szafera, S. (2015):** Entwicklung eines Verfahrens zur Gewinnung von Gras als Rohstoff und Verarbeitung für die Herstellung von Papierprodukten unter besonderer Berücksichtigung des Aufbaus einer nachhaltigen Wertschöpfungskette. DBU-Bericht, 116 S.
- Czubaszek, R., Wysocka-Czubaszek, A., Wichtmann, W. & Banaszuk, P. (2021):** Specific Methane Yield of Wetland Biomass in Dry and Wet Fermentation Technologies. *Energies*, 14, 8373.
- Czybulka, D. & Kölsch, L. (2016):** Rechtliche Rahmenbedingungen. In: Wichtmann et al. (Hrsg.): *Paludikultur – Bewirtschaftung nasser Moore*. Schweizerbart’sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, S. 143-149.
- Da Silva Veiga, P.A., Schultz, J., da Silva Matos, T.T., Fornari, M.R., Costa, T.G., Meurer, L. & Antonio Mangrich, A.S. (2020):** Production of high-performance biochar using a simple and low-cost method: Optimization of pyrolysis parameters and evaluation for water treatment. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 148.
- Dahmen, N., Lewandowski, I., Zibek, S. & Weidtmann, A. (2018):** Integrated lignocellulosic value chains in a growing bioeconomy: Status quo and perspectives. *GCB Bioenergy* 2019, 11, 107–117.

- Dahms, T. (2017):** Biomass harvest on wet peatlands. Assessment of different harvesting regimes using a labor time classification based model. Präsentation auf der Konferenz RRR2017.
- Dahms, T., Oehmke, C., Kowatsch, A., Abel, S., Wichmann, S., Wichtmann, W. & Schröder, C. (2017):** Paludi-Pellets-Broschüre. Halmgutartige Festbrennstoffe aus nassen Mooren. 2. Auflage. Universität Greifswald. Greifswald.
- Daun, C., Gaudig, G., Günther, A., Huth, V., Jacobs, O., Krebs, M. & Jurasinski, G. (in Vorb.):** Full-cycle greenhouse gas balance of a Sphagnum paludiculture on former bog grassland in Germany.
- Deutscher Bundestag (2020):** Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Steffi Lemke, Uwe Kekeritz, Harald Ebner, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN – Drucksache 19/22377 – Sojaimporte nach Deutschland. <https://dserver.bundestag.de/btd/19/233/1923345.pdf>
- W. Dietz, C. Dornack, Schramm, S., Schütt, F. & Sieger, F. (2014):** Ersatz klassischer Faserstoffe durch biogene Reststoffe Teil 1 und Teil 2, Wochenblatt für Papierfabrikation 4/2014 und 5/2014.
- DLG (2020):** Andelsselskaber vil producere grønt protein i Vestjylland. https://www.dlg.dk/da/Om-DLG/Presse/Nyheder/2020/05/Andelsselskaber_vil_producere_gront_protein_i_Vestjylland
- Doderer, H., Feldmüller, J. & Schäfer-Stradowsky, S. (2016):** Hindernisse und Handlungsempfehlungen zur energetischen Nutzung von Paludikulturen. Endbericht. IKEM, Berlin, Greifswald. 99 S.
- Dragoni, F., Giannini, V., Ragolini, G., Bonari, E. & Silvestri, N. (2017):** Effect of Harvest Time and Frequency on Biomass Quality and Biomethane Potential of Common Reed (*Phragmites australis*) Under Paludiculture Conditions. BioEnergy Research 10, 1066–1078.
- Dürr, H.-J., Petelkau, H. & Sommer, C. (1995):** Literaturstudie Bodenverdichtung. Umweltbundesamt. UBA-Texte 55/95, 203 S.
- DVL & GMC (2022):** Zusammenarbeit im Moor – so kommt der Klimaschutz voran! Deutscher Verband für Landschaftspflege e.V. und Greifswald Moor Centrum. Ansbach und Greifswald, 20 S.
- El Bassam, N. (2010):** Handbook of Bioenergy Crops. A Complete Reference to Species, Development and Applications. Earthscan. London, Washington, DC. 545 S.
- Eller, F., Ehde, P.M., Oehmke, C., Ren, L., Brix, H., Sorrell, B.K. & Weisner, S.E.B. (2020):** Biomethane Yield from Different European *Phragmites australis* Genotypes, Compared with Other Herbaceous Wetland Species Grown at Different Fertilization Regimes. Resources, 9, 57.
- Emsens, W.-J., Aggenbach, C. J. S., Smolders, A. J. P., Zak, D. & van Diggelen, R. (2017):** Restoration of endangered fen communities: the ambiguity of iron-phosphorus binding and phosphorus limitation. Journal of Applied Ecology, 54, 1755–1764.
- Finell, M. (2003):** The Use of Reed Canary-Grass (*Phalaris arundinacea*) as a Short Fibre Raw Material for the Pulp and Paper Industry. Doctoral Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences. Umea. 53 S.
- Finkenstein, B. v. & Gerst, J. (2013):** Forstökonomische Überlegungen zur Bewirtschaftung nasser Waldstandorte. AFZ-Der Wald 68 (18), S. 20 – 22.
- FNR (2014):** Marktanalyse Nachwachsende Rohstoffe. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hrsg.) Gülzow-Prüzen. 119 S.
- FNR (2020):** Basisdaten Biobasierte Produkte 2021. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow-Prüzen. 13 S.

- Fraunhofer-Institut für Solare Energiesystem (2022):** Agri-Photovoltaik: Chance für Landwirtschaft und Energiewende. Ein Leitfaden für Deutschland. 2. Auflage. 76 S.
- Frühschutz, L. (2020):** Woher kommt Bio-Soja? Online Artikel auf Schrot & Korn. <https://schrotundkorn.de/essen/woher-kommt-bio-soja>
- Gaudig, G., Krebs, M. & Joosten, H. (2017):** *Sphagnum* farming on cut-over bog in NW Germany: Long-term studies on *Sphagnum* growth. *Mires and Peat*, 20(4), 1-19.
- Gaudig, G., Krebs, M., Prager, A., Wichmann, S., Barney, M., Caporn, S. et al. (2018):** *Sphagnum* farming from species selection to the production of growing media: a review. *Mires and Peat* 20 (2017/18), S. 1-30.
- Geurts, J., Oehmke, C., Lambertini, C., Eller, F., Sorrell, B., Mandiola, S., Grootjans, A., Brix, H., Wichtmann, W., Lamers, L. & Fritz, C. (2020):** Nutrient removal potential and biomass production by *Phragmites australis* and *Typha latifolia* on European rewetted peat and mineral soils. *Science of the Total Environment* 747.
- GMC (2019):** Faktenpapier Rohrwerbung in Mecklenburg-Vorpommern. Rohrwerbung ist aussterbendes UNESCO-Kulturerbe – Potential für regionale Wertschöpfung und Umweltschutz kaum genutzt. Greifswald Moor Centrum mit Rohrdachdeckerinnung M-V, Rohrdachdeckerei & Zimmerei Paech, Rohrwerbung & Verkauf H. Nordt. Greifswald. 4 S.
- GMC (2022):** Informationspapier des Greifswald Moor Centrum zu Photovoltaik-Anlagen auf Moorböden. Greifswald Moor Centrum, Stand 03/2022.
- GMC (2022b):** Steckbriefe „Produkte aus Paludikultur“. Greifswald Moor Centrum. <https://www.succow-stiftung.de/mokli> (zuletzt abgerufen am 13.07. 2022)
- GMC & DVL (2021):** Vorgaben zum Grünlanderhalt bei der Umstellung auf Paludikultur. Informationspapier. Greifswald Moor Centrum, 9 S.
- Götz, M., Rudi, A., Heck, R., Schultmann, F. & Kruse, A (2022):** Processing *Miscanthus* to high-value chemicals: A techno-economic analysis based on process simulation. *GCB Bioenergy*, 14, 447– 462.
- Gramoflor (2020):** Torfersatzstoff aus Rohrkolben und Schilf? Vortrag auf der Online Veranstaltung „Nachwachsende Rohstoffe aus vernässten Mooren – eine Chance für den niedersächsischen Moor- und Klimaschutz?“ am 10.9.2020.
- Günther A., Barthelmes, A., Huth, V., Joosten, H., Jurasinsky, G., Koebisch, F. & Couwenberg, J. (2020):** Prompt rewetting of drained peatlands reduces climate warming despite methane emissions. *Nature Communications*, 11, 1644.
- Haberl, A., Schroeder, P. & Schröder, C. (2016):** Flächenverfügbarkeit. In: Wichtmann et al. (Hrsg.): Paludikultur – Bewirtschaftung nasser Moore. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, S. 179-181.
- Haldan, K., Köhn, N., Hornig, A., Wichmann, S., & Kreyling, J. (2022):** *Typha* for paludiculture—Suitable water table and nutrient conditions for potential biomass utilization explored in mesocosm gradient experiments. *Ecology and Evolution*, 12, e9191.
- Hartung, C. & Eickenscheidt, T. (2018):** Verwertung von Niedermoor-Paludikultur-Pflanzen als Biogas-Substrat und Torfersatzstoff, PowerPoint Präsentation, 13.07.2018.
- Hartung, C., Andrade, D., Dandikas, V., Eickenscheidt, T., Drösler, M., Zollfrank, C. & Heuwinkel, H. (2020):** Suitability of paludiculture biomass as biogas substrate – biogas yield and long-term effects on anaerobic digestion. *Renewable Energy*, 159, 64-71.

- Hartung, C. & Meinken, E. (2021):** Fen plant biomass as growing media constituent – reduction of nitrogen immobilization by composting. *Acta Horticulturae*, 1317.
- Herrmann C., Prochnow A., Heiermann M. & Idler C. (2014):** Biomass from landscape management of grassland used for biogas production: effects of harvest date and silage additives on feedstock quality and methane yields. *Grass and Forage Science*, 69 (4), 549-566.
- Hinzke, T., Tanneberger, F., Aggenbach, C., Dahlke, S., Knorr, K.-H., Kotowski, W., Kozub, W., Lange, J., Li, G., Pronin, E., Seeber, E., Wichtmann, W. & Kreyling, J. (2021):** Can nutrient uptake by *Carex* counteract eutrophication in fen peatlands? *Science of the Total Environment*, 785.
- Hirschelmann, S., Raschke, I., Stüber, M., Wichmann, S. & Peters, J. (2020):** Moorschutz in der Gemeinsamen Agrarpolitik – Instrumente für eine klimaverträgliche Moornutzung in Deutschland. In: *Berichte über Landwirtschaft*, Band 98, Ausgabe 3.
- Hofer, B. & Pautz, B. (2005):** Integriertes Gebiets- und Entwicklungskonzept Hankhauser Moor.
- Höller, M., Lunze, A., Wever, C., Deutschle, A.L., Stücker, A., Frase, N., Pestsova, E., Spiess, A.C., Westhoff, P. & Pude, R. (2021):** Meadow hay, *Sida hermaphrodita* (L.) Rusby and *Silphium perfoliatum* L. as potential non-wood raw materials for the pulp and paper industry. *Industrial Crops & Products*, 167.
- Holsten, B. & Trepel, M. (2016):** Nährstoffhaushalt und Gewässerschutz. In: Wichtmann et al. (Hrsg.): *Paludikultur – Bewirtschaftung nasser Moore*. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 106-108.
- Horn, R. (1984):** Die Vorhersage des Eindringwiderstandes von Böden anhand von multiplen Regressionsanalysen. *Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung*, 25, 377–380.
- Institute for Bioplastics and Biocomposites (2021):** *Biopolymers, facts and statistics 2021*. Edition 8. Hochschule Hannover, 66 S.
- Isermeyer F., Heidecke, C., Osterburg, B. (2019):** Einbeziehung des Agrarsektors in die CO₂-Bepreisung. Thünen Working Paper 136. Johann Heinrich von Thünen-Institut. Braunschweig.
- Joosten, H., Brust, K., Couwenberg, J., Gerner, A., Holsten, B., Permien, T., Schäfer, A., Tanneberger, F., Trepel, M. & Wahren, A. (2013):** MoorFutures®: Integration von weiteren Ökosystemdienstleistungen einschließlich Biodiversität in Kohlenstoffzertifikate. Standard, Methodologie und Übertragbarkeit in andere Regionen. BfN-Skripten 350. Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg.
- Joseph, B., Kaetzel, K., Hensgen, F., Schäfer, B. & Wachendorfer, M. (2020):** Sustainability assessment of activated carbon from residual biomass used for micropollutant removal at a full-scale wastewater treatment plant. *Environmental Research Letters*, 15 (6).
- Jurasinski, G., Günther, A., Huth, V., Couwenberg, J. & Glatzel, S. (2016):** Treibhausgasemissionen. In: Wichtmann et al. (Hrsg.): *Paludikultur – Bewirtschaftung nasser Moore*. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, S. 79-94.
- Kaiser, M. & Tanneberger, F. (2021):** Treibhausgase. In: Närmann et al. (2021): *Klimaschonende, biodiversitätsfördernde Bewirtschaftung von Niedermoorböden*. BfN-Skripten 616.
- Kaphengst, T., Prochnow, A. & Hampicke, U. (2005):** Ökonomische Analyse der Rinderhaltung in halboffenen Weidelandschaften – Volks- und betriebswirtschaftliche Kostenanalyse aus sechs Gebieten. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 37, 369–375.

Köbbing, J. (2016): China – Papier aus dem Wasser. In: Wichtmann et al. (Hrsg.): Paludikultur – Bewirtschaftung nasser Moore. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, S. 223 – 226.

Korthorst, M. (2022): Paludicultuur in de Praktijk. Ervaringen in het IPV in de periode 2018-2021. Hrsg. v. Landschap Noord-Holland, Heiloo. 48 S.

Kraschinski, S., Prochnow, A., Tölle, R. & Hahn, J. (1999): Verfahrenstechnische Arbeiten zur Befahrbarkeit von Niedermoorgrünland. In: Prochnow, A. (Hrsg.): Angepasstes Befahren von Niedermoorgrünland. Landschaftspflege in der Nuthe-Nieplitz-Niederung 3. Landschafts-Fördervereins Nuthe-Nieplitz-Niederung e.V., Stücken: 35–57.

Kratz, R. & Pfadenhauer, J. (Hrsg.) (2001): Ökosystemmanagement von Niedermooren. Strategien und Verfahren zur Renaturierung. Ulmer Verlag, Stuttgart, 317 S.

KTBL (2005): Landschaftspflege 2005. KTBL-Datensammlung, 5., überarbeitete Auflage. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. Darmstadt.

KTBL (2010): Planungsdaten für die Haltung von Wasserbüffeln. Fachartikel. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft Darmstadt. 18 S.

KTBL (2018): Faustzahlen für die Landwirtschaft, 15. Auflage. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt, 1385 S.

Lahtinen, L., Mattila, T., Myllyviita, T., Seppälä, J. & Vasander, H. (2022): Effects of paludiculture products on reducing greenhouse gas emissions from agricultural peatlands. Ecological Engineering, 175, 106502.

Land, M., Granéli, W., Grimvall, A., Hoffmann, C.C.; Mitsch, W.J., Tonderski, K.S. & Verhoeven, J.T.A. (2016): How effective are created or restored fresh-

water wetlands for nitrogen and phosphorus removal? A systematic review. Environmental Evidence, 5, Nr. 9.

Landgraf, L. (2018): Wiedervernässung von Mooren. In: Luthardt, V. & Zeitz, J. (Hrsg.): Moore in Berlin und Brandenburg. Natur+Text, Rangsdorf, S. 239-250.

Lenz, A. (2001): Wassermanagement, Wassermengenbilanz und Nährstoffrückhaltefunktion wiedervernässter Niedermoorflächen. In: Pfadenhauer, J. & Wild, U (Hrsg.): Rohrkolbenanbau in Niedermooren. Integration von Rohstoffgewinnung, Wasserreinigung und Moorschutz zu einem nachhaltigen Nutzungskonzept. Abschlussbericht zum DBU-Projekt Nr. 10628. Freising-Weihenstephan, TU München, S. 41-54.

LfU Brandenburg (2004): Leitfaden zur Renaturierung von Feuchtgebieten in Brandenburg. Studien und Tagungsberichte, Band 50. Landesumweltamt (LfU) Brandenburg, Potsdam, 193 S.

Limberg, J. (2022): AUKM-Programm "Moorschonende Wasserhaltung" – Erste Erfahrungen & Ergebnisse. LIFE Limicodra. 20 S.

Liu, J., Kopold, P., van Aken, P., Maier, J. & Yu, Y. (2015): Energy Storage Materials from Nature through Nanotechnology: A Sustainable Route from Reed Plants to a Silicon Anode for Lithium-Ion Batteries. Angewandte Chemie, 54 (33), 9632-9636.

LM M-V (2000): Richtlinie zur Mahd von Schilfrohr in Röhrichten (Rohrwerbung). Bekanntmachung des Umweltministeriums vom 21. August 2000, X 210-1 5326.61, AmtsBl. M-V 2000. S. 1175.

LM M-V (2017a) (Hrsg.): Umsetzung von Paludikultur auf landwirtschaftlich genutzten Flächen in Mecklenburg-Vorpommern. Fachstrategie zur Umsetzung der nutzungsbezogenen Vorschläge des Moorschutzkonzeptes. Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern. Schwerin.

LM M-V (2017b): Richtlinie zur Förderung der dauerhaften Umwandlung von Ackerflächen in Dauergrünland: Acker/Dauergrünland-Umwandlungsrichtlinie. Vom 5. April 2017 (AmtsBl. M-V 2017 S. 328). Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern.

Luthardt, V. & Zeitz, J. (2018): Prozesse und Auswirkungen einer entwässerungsbasierten Moornutzung. In: Luthardt, V. & Zeitz, J. (Hrsg.): Moore in Berlin und Brandenburg. Natur+Text, Rangsadorf, S. 113-122.

MacKinnon, A. (2009): Edible and Medicinal Plants of Canada. Lone Pine Publishing, Edmonton, 448 S.

Meier, D. (2014): Wärme vom Niedermoor. Energie aus Pflanzen 4/2014, S. 34-37.

MLUK (In Vorb.): Brandenburgs Moore klimafreundlich bewirtschaften – ein Ratgeber für Anwender und Interessierte. Michael Succow Stiftung im Auftrag für Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz (MLUK). Potsdam/Greifswald.

Müller, J. & Sweers, W. (2016): Produktion von Futter in Paludikultur. In: Wichtmann et al. (Hrsg.): Paludikultur – Bewirtschaftung nasser Moore. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, S. 39-43.

Muster, C., Gaudig, G., Krebs, M. & Joosten, H. (2015): *Sphagnum* farming: the promised land for peat bog species? Biodiversity and Conservation, 24, 1989-2009.

Närman, F. (2018): Impacts of machine mowing on selected soil properties in near-natural fens. A case study from north-eastern Germany. Master Thesis. Universität Greifswald. 32 S.

Närman, F. & Tanneberger, F. (2021): Biodiversität. In: Närman et al. (Hrsg.): Klimaschonende, biodiversitätsfördernde Bewirtschaftung von Niedermoorböden. BfN-Skripten 616. S. 154-182.

Närman, F., Birr, F., Kaiser, M., Nerger, M., Luthardt, V., Zeitz, J. & Tanneberger, F. (2021): Klimaschonende, biodiversitätsfördernde Bewirtschaftung von Niedermoorböden. BfN-Skripten 616, Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg, 341 S.

Negassa, W., Michalik, D., Klysubun, W. & Leinweber, P. (2020): Phosphorus speciation in long-term drained and rewetted peatlands of Northern Germany. Soils Systems 4, 1,

Nerger, M. & Zeitz, J. (2021): Flächenkulisse. In: Närman et al. (Hrsg.): Klimaschonende, biodiversitätsfördernde Bewirtschaftung von Niedermoorböden, BfN-Skripten 616, S. 97-134.

Neubert, J., Köhn, N., Haldan, K., Kuprina, K. & Wichmann, S. (2022): Paludikultur in die Praxis bringen: Integration – Management – Anbau. Schlussbericht zum Projekt Paludi-PRIMA. Universität Greifswald, 82 S.

Nielsen, C.K., Stødkilde, L., Jørgensen, U. & Lærke, P.E. (2021): Effects of harvest and fertilization frequency on protein yield and extractability from flood-tolerant perennial grasses cultivated on a fen peatland. Frontiers in Environmental Science, 9, 619258.

Nordt, A. & Doderer, H. (2017): Impulspapier: Verwertung von Paludikultur-Biomasse. Rechtliche Handlungsempfehlungen für die energetische und stoffliche Verwertung von Paludikultur-Biomasse. Hrsg. v. Greifswald Moor Centrum (GMC) und Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität (IKEM).

Nordt, A., Abel, S., Eberts, J., Hoffmann, T., Kost, A., Lampe, M., Peters, J. & Wichtmann, W. (2020): Machbarkeitsstudie Aufwuchsverwertung und Artenvielfalt in der Leader-Region „Kulturlandschaften Osterholz“. Michael Succow Stiftung im Auftrag des Landvolk Niedersachsen, Greifswald, 175 S.

- Nordt, A. & Dahms, T. (2021):** Paludi-tiny house – a demonstrator for climate friendly building materials. Poster auf der RRR2021 Konferenz 2021.
- Nordt, A., Wichmann, S., Risse, J., Peters, J. & Schäfer, A. (2022):** Potenziale und Hemmnisse für Paludikultur. Hintergrundpapier zur Studie „Anreize für Paludikultur zur Umsetzung der Klimaschutzziele 2030 und 2050“. Hrsg. v. Deutsche Emissionshandelsstelle im Umweltbundesamt (DEHSt). Berlin.
- Oehmke, C. & Abel, S. (2016):** Ausgewählte Paludikulturen. In: Wichmann et al. (Hrsg.): Paludikultur - Bewirtschaftung nasser Moore. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, S. 22-38
- Peters, J. & Unger, M. von (2019):** Moore im Rechtssystem der Europäischen Union. Eine Analyse anhand ausgewählter Mitgliedstaaten. *Natur und Landschaft* 94 (2), S. 45-51.
- Pfadenhauer, J. & Wild, U. (Hrsg.) (2001):** Rohrkolbenanbau in Niedermooren – Integration von Rohstoffgewinnung, Wasserreinigung und Moorschutz zu einem nachhaltigen Nutzungskonzept. Abschlussbericht zum DBU-Projekt Nr. 10628. Technische Universität München, Freising-Weihenstephan. S. 97-111.
- Pfister, S. & Oppermann, R. (2021):** Ökonomie. In: Närmann et al. (Hrsg.): Klimaschonende, biodiversitätsfördernde Bewirtschaftung von Niedermoorböden. BfN-Skript 616, S. 183 – 199.
- Pijlmann, J., Geurts, J.J.M., Vroom, R.J.E., Bestman, M., Fritz, C. & Eekeren, N. Van (2019):** The effects of harvest date and frequency on the yield, nutritional value and mineral content of the paludiculture crop cattail in the first year after planting. *Mires and Peat*, 25(04).
- Pijnakker, J., Arijs, Y., de Souza, A., Cellier, M. & Wäckers, F. (2015):** The use of *Typha angustifolia* (cattail) pollen to establish the predatory mites *Amblyseius swirskii*, *Iphiseius degenerans*, *Euseius ovalis* and *Euseius gallicus* in glasshouse crops. Conference Paper. 5th Meeting of the working group “ Integrated Control of mite pest” from September 8th to 10th 2015 in Castelló de la Plana, Spain.
- Prochnow, A. & Kraschinski, S. (2001):** Angepasstes Befahren von Niedermoorgrünland. Merkblatt 323. Hrsg. v. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG). Berlin, Frankfurt. 16 S.
- Quinty, F. & Rochefort, L. (2003):** Peatland Restoration Guide, Second Edition. Canadian *Sphagnum* Peat Moss Association (St. Albert, AB) & New Brunswick Department of Natural Resources and Energy (Fredericton, NB), Canada, 106 S.
- Ren, L., Eller, F., Lambertini, C., Guo, W.-Y., Brix, H. & Sorrell, B.K. (2019):** Assessing nutrient responses and biomass quality for selection of appropriate paludiculture crops. *Science of the Total Environment*, 664, 1150–1161.
- Richter, L. & Nordt, A. (2022):** Ohne Moos nichts los. *Politische Ökologie* 169. Oekom Verlag, München. S. 87-92.
- Röhe, P. & Schröder, J. (2010):** Grundlagen und Empfehlungen für eine nachhaltige Bewirtschaftung der Roterle in Mecklenburg-Vorpommern. Drönnewitz: Waldbesitzerverband für Mecklenburg-Vorpommern e. V. 58 S.
- Roj-Rojewski, S., Wysocka-Czubaszek, A., Czubaszek, R., Kamocki, A. & Banaszuk, P. (2019):** Anaerobic digestion of wetland biomass from conservation management for biogas production. *Biomass and Bioenergy* 122, 126-132.
- Roth, S., Seeger, T., Poschlod, P., Pfadenhauer, J. & Succow, M. (2001):** Etablierung von Röhrriechen und Seggenrieden. In: Kratz, R., Pfadenhauer, J. (Hrsg.): Ökosystemmanagement von Niedermooren. Strate-

gien und Verfahren zur Renaturierung: Ulmer Verlag, Stuttgart, S. 125 – 134.

Rühs, M. & Stein-Bachinger, K. (2018): Honorierung von Naturschutzleistungen Aktualisierte Neuauflage, 92 S.

Sasmaz, A., Öbek, E. & Hasar, H. (2008): The accumulation of heavy metals in *Typha latifolia* L. grown in a stream carrying secondary effluent. *Ecological Engineering*, 33, 278–284.

Schäfer, A. (2016): Volkswirtschaftliche Aspekte der Moornutzung. In: Wichtmann, W., Schröder, C. & Joosten, H. (Hsg.): *Paludikultur – Bewirtschaftung nasser Moore*. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, S. 133-142

Schäfer, A. & Joosten, H. (Hrsg.) (2005): Erlenaufforstung auf wiedervernässten Niedermooren - ALNUS Leitfaden. DUENE e.V., Greifswald, 68 S.

Schäfer, J. & Yilmaz, Y. (2019): Aktuelle Hemmnisse und Weiterentwicklungsoptionen im Ordnungs- und Planungsrecht zugunsten der Moorrevitalisierung als Umsetzung von Klimaanpassungs- und Klimaschutzmaßnahmen. Rechtswissenschaftliche Studie. Greifswald Moor Centrum-Schriftenreihe 04/2019.

Schäfer, A., Nordt, A., Peters, J. & Wichmann, S. (2022): Anreize für Paludikultur zur Umsetzung der Klimaschutzziele 2030 und 2050. Umweltbundesamt. In Veröffentlichung.

Schätzl, R., Schmitt, F., Wild, U. & Hoffmann, U. (2006): Gewässerschutz und Landnutzung durch Rohrkolbenbestände. *Wasserwirtschaft*, 96, S. 24–27.

Schlattmann, A. & Rode, M. (2019): Spatial potential for paludicultures to reduce agricultural greenhouse gas emissions: an analytic tool. *Mires and Peat*, 25 (03), 1–14.

Schmidt, W. (1980): Zur Bestimmung der Scherfestigkeit von Torfen und Mudden. *Wissenschaftlich-technische Informationen für das Meliorationswesen* 61, 28–41.

Schmidt, W. (1995): Einfluss der Wiedervernässung auf physikalische Eigenschaften des Moorkörpers der Friedländer Großen Wiese. *Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung*, 36, 107–122.

Schmilewski, G. (2017): Growing media constituents used in the EU in 2013. *Acta Horticulturae*, 1168, 85–92.

Scholwin, F. & Siegert, G. (2020): Biogas aus Paludikulturen – Produktionsweg, Hintergründe, Klimaschutzwirkung. Greenpeace Energy eG.

Schreiner, B.-G. (1967): Technique for estimating the performance of tracked vehicles in muskeg. *Journal of Terramechanics*, 4, 23–29.

Schröder, C., Dahms, T., Paulitz, J., Wichtmann, W. & Wichmann, S. (2015): Towards large-scale paludiculture: addressing the challenges of biomass harvesting in wet and rewetted peatlands. *Mires and Peat*, 16, 13.

Schröder, C. & Dettmann, S. (2016): Realisierbarkeit der Ernte von Biomasse aus Paludikultur. In: Wichtmann et al. (Hrsg.): *Paludikultur – Bewirtschaftung nasser Moore*. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, S. 77-78.

Schröder C., Dettmann, S., Wichmann S. (2016): Logistik der Biomasseproduktion auf nassen Mooren. In: Wichtmann et al. (Hrsg.): *Paludikultur – Bewirtschaftung nasser Moore*. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, S. 70-76.

Schröder, C., Nordt, A. & Bork, L. (2017): Entwicklung einer klimagerechten regionalen Energieversorgung durch Paludikultur am Beispiel des Landkreises

Vorpommern-Rügen. BMEL-Modellvorhaben Land(auf) Schwung. DUENE e.V., Greifswald, 38 S.

Schröder, C., Hohlbein, M., Wichmann, S., Busse, S., Wichtmann, W. & Tanneberger, F. (2019): Identifizierung von landwirtschaftlich genutzten Mooren, die für die Einrichtung von Demonstrationsflächen für Paludikultur in Mecklenburg-Vorpommern geeignet sind. DUENE e.V., Partner im Greifswald Moor Centrum im Auftrag des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern. Endbericht, unveröffentlicht.

Schulze, P., Schröder, C., Luthardt, V. & Zeitz, J. (2016): Das Entscheidungsunterstützungssystem TOR-BOS. In: Wichtmann et al. (Hrsg.): Paludikultur – Bewirtschaftung nasser Moore. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, S. 184-188.

Steinbach, D., Kruse, A. & Sauer, J. (2017): Pretreatment technologies of lignocellulosic biomass in water in view of furfural and 5-hydroxymethylfurfural production- A review. Biomass Conversion and Biorefinery 7(2).

Stiller, W. & Ohl, S. (2015): Untersuchung zur Feststoffvergärung von Landschaftspflegematerial niedersächsischer Grünlandstandorte. Abschlussbericht 2014. Hochschule Hannover. Hannover.

Strauss, J. (2018): Funktionserweiterung von Faser-guss-Formteilen durch Anpassung der Verfahrensbedingungen für die hochgradige Einbindung von funktionalen Füllstoffen. PTS-Forschungsbericht 08/18. Papiertechnische Stiftung, München. 32 S.

Succow, M. & Joosten, H. (2001): Landschaftsökologische Moorkunde. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 623 S.

Sündermann, J., Schröder, J. & Röhe, P. (2013): Bodenschonende Holzernte in geschädigten Eschenbeständen auf Nassstandorten Erkenntnisse und Empfeh-

lungen aus Fallstudien in Mecklenburg- Vorpommern. Schwerin: Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern (LU), 44 S.

Sündermann, J. & Röhe, P. (2014): Vollmechanisierte Holzernteverfahren auf Nassstandorten. Landesforst Mecklenburg-Vorpommern, Malchin, 35 S.

Sweers, W., Möhring, T. & Müller, J. (2014): The economics of water buffalo (*Bubalus bubalis*) breeding, rearing and direct marketing. Archiv Tierzucht, 57, 22, 1–11.

Sweers, W. & Müller, J. (2016): Verwertung in der Tierhaltung. In: Wichtmann et al. (Hrsg.): Paludikultur – Bewirtschaftung nasser Moore. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, S. 116–118.

Tanneberger, T., Schröder, C., Hohlbein, M., Lenschow, U., Permien, T., Wichmann, S. & Wichtmann, W. (2020): Climate Change Mitigation through Land Use on Rewetted Peatlands – Cross-Sectoral Spatial Planning for Paludiculture in Northeast Germany. Wetlands, 40, 2309–2320.

Temmink, R.J.M., Fritz, C., van Dijk, G., Hensgens, G., Lamers, L.P.M., Krebs, M., Gaudig, G. & Joosten, H. (2017): Sphagnum farming in a eutrophic world: The importance of optimal nutrient stoichiometry. Ecological Engineering 98.

Theuerkorn, W. (2001): Rohrkolbenverwertung. In: Pfadenhauer, J. & Wild, U.: Rohrkolbenanbau in Niedermooren – Integration von Rohstoffgewinnung, Wasserreinigung und Moorschutz zu einem nachhaltigen Nutzungskonzept. Abschlussbericht zum DBU-Projekt Nr. 10628. Technische Universität München, Freising-Weihenstephan, S. 97-111.

Tiemeyer, B., Bechtold, M., Belting, M., Freibauer, A., Förster, C., Schubert, E., Dettmann, U., Frank, S., Fuchs, D., Gelbrecht, J., Jeuther, B., Laggner, A., Rolsinski, E., Leiber-Sauheitl, K., Sachteleben, J., Zak, D.

& Drösler, M. (2017): Moorschutz in Deutschland – Optimierung des Moormanagements in Hinblick auf den Schutz der Biodiversität und der Ökosystemleistungen: Bewertungsinstrumente und Erhebung von Indikatoren, BfN-Skript 462, Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg, 319 S.

Tiemeyer, B., Freibauer, A., Albiac-Borraz, E., Augustin, J., Bechtold, M., Beetz, S., Beyer C., Ebli, M., Eickenscheidt, T., Fiedler, S., Förster, C., Gensior, A., Giebels, M., Glatzel, S., Heinichen, J., Hoffmann, M., Höper, H., Jurasinski, G., Laggner, A., Leiber-Sauheitl, K., et al. (2020): A new methodology for organic soils in national greenhouse gas inventories: Data synthesis, derivation and application. *Ecological Indicators*, 105838.

Türk, O. (2014): Stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Springer Vieweg, S. 443–454.

UBA (2021): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2021. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausinventar 1990-2019. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

Vroom, R., Geurts, J., Nouta, R., Borst, A., Lamers, L. & Fritz, C. (2022): Paludiculture crops and nitrogen kick-start ecosystem service provisioning in rewetted peat soils. *Plant Soil*, 474, 337-354.

Wahren, A. (2016): Wasserbedarf für Paludikulturen am Beispiel Nordostdeutschland In: Wichtmann et al. (Hrsg.): Paludikultur – Bewirtschaftung nasser Moore. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, S. 191f.

Wahren, A., Brust, K., Dittrich, I. & EDOM, F. (2016): Regionalklima und Landschaftswasserhaushalt. In: Wichtmann et al. (Hrsg.): Paludikultur – Bewirtschaftung nasser Moore. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, S. 102-106.

Walton, C.R., Zak, D., Audet, J., Petersen, R.J., Lange, J., Oehmke, C., Wichtmann, W., Kreyling, J., Grygoruk, M., Jabło ska, E., Kotowski, W., Wi niewska, M.M., Ziegler, R. & Hoffmann, C.C. (2020): Wetland buffer zones for nitrogen and phosphorus retention: Impacts of soil type, hydrology and vegetation. *Science of the Total Environment*, 727, 138709.

Wenzel, M., Kabengele, G., Dahms, T., Barz, M. & Wichtmann, W. (2022): Bioenergie aus Mooren. Thermische Verwertung von halmgutartiger Biomasse aus Paludikultur. Universität Greifswald, 58 S.

Wiche, O., Feuerstein, U. & Heilmann, H. (2021): Reed canary grass as a potential agent for phytoremediation and phytomining of strategic elements. Vortrag auf der Konferenz RRR2021.

Wichmann, S. (2016): Betriebswirtschaftliche Aspekte von Paludikultur. In: Wichtmann et al. (Hrsg.): Paludikultur – Bewirtschaftung nasser Moore. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, S. 109-119.

Wichmann, S. (2017): Commercial viability of paludiculture: A comparison of harvesting reeds for biogas production, direct combustion, and thatching. *Ecological Engineering* 103, 497–505.

Wichmann, S. (2022): PRIMA – Erste Ernte im Rohrkolben-Praxisanbau bei Neukalen (D). In: Paludikultur-Newsletter 2022_01.

Wichmann, S. & Köbbing, J. (2015): Common reed for thatching—A first review of the European market. *Industrial Crops and Products*, 77, 1063–1073.

Wichmann, S., Dettmann, S. & Dahms, T. (2016): Landtechnik für nasse Moore. In: Wichtmann et al. (Hrsg.): Paludikultur – Bewirtschaftung nasser Moore. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, S. 63-70.

- Wichmann, S., Prager, A. & Gaudig, G. (2017):** Establishing *Sphagnum* cultures on bog grassland, cut-over bogs, and floating mats: procedures, costs and area potential in Germany. *Mires and Peat* 20.
- Wichmann, S., Krebs, M., Kumar, S. & Gaudig, G. (2020):** Paludiculture on former bog grassland: Profitability of *Sphagnum* farming in North West Germany. *Mires and Peat*, 26, 1-18.
- Wichmann, S., Nordt, A. & Schäfer, A. (2022a):** Lösungsansätze zum Erreichen der Klimaschutzziele und Kosten für die Umstellung auf Paludikultur. Hintergrundpapier zur Studie „Anreize für Paludikultur zur Umsetzung der Klimaschutzziele 2030 und 2050“. Hrsg. v. Deutsche Emissionshandelsstelle im Umweltbundesamt (DEHSt). Berlin.
- Wichmann, S., Reichelt, F. & Nordt, A. (2022b):** Herleitung von Förderpauschalen zur Umsetzung von Moorklimaschutzprojekten . GMC-Schriftenreihe 01/2022.
- Wichtmann, W. (1999):** Schilfanbau als Alternative zur Nutzungsauffassung von Niedermooren. *Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung*, 38, 97-110.
- Wichtmann, W. & Schröder, C. (2016):** Kulturtechnische Maßnahmen für die Umsetzung von Paludikultur. In: Wichtmann et al. (Hrsg.): Paludikultur – Bewirtschaftung nasser Moore. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, S. 188–193.
- Wichtmann, W., Schröder, C. & Joosten, H. (Hrsg.) (2016):** Paludikultur - Bewirtschaftung nasser Moore. Klimaschutz - Biodiversität - regionale Wertschöpfung. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 272 S.
- Wiedow, D., Burgstaler, J. & Schröder, C. (2016):** Befahrbarkeit nasser und wiedervernässter Niedermoore. In: Wichtmann et al. (Hrsg.): Paludikultur – Bewirtschaftung nasser Moore. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, S. 59–62.
- Wijns, K., Van Ackere, C. & Aarts, R. (2018):** Logistiek en machines van natuurgras tot verwerker. Rapport GrasGoed. Natuurlijk Groen als Grondstof. Mechelen. 24 S.
- Wilson, P. C., Whitwell, T. & Klaine, S. J. (2000):** Metalaxyl and simazine toxicity to and Uptake by *Typha latifolia*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 39 (3), 282–288.
- Zak, D. & Gelbrecht, J. (2007):** The mobilisation of phosphorus, organic carbon and ammonium in the initial stage of fen rewetting (a case study from NE Germany). *Biogeochemistry*, 85, 141–151.
- Zak, D., Gelbrecht, J., Zerbe, S., Shatwell, T., Barth, M., Cabezas, A. & Steffenhagen, P. (2014):** How helophytes influence the phosphorus cycle in degraded inundated peat soils: implications for fen restoration. *Ecological Engineering*, 66, 82–90.
- Zielke, L. (2016):** Rohrglanzgras vernässter Moorstandorte als Pferdefutter. In: Wichtmann et al. (Hrsg.): Paludikultur – Bewirtschaftung nasser Moore. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, S. 34.

